

## TRABAJO DE FINAL DE GRADO

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

# **ESTUDIO Y USO DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA LA MEJORA EN EL CONTROL DE PROCESOS Y CALIDAD**



## **Memoria y Anexos**

<b>Autor:</b>	Guillem Bonilla Montolio
<b>Director:</b>	Pablo Buenestado
<b>Codirector:</b>	Leonardo Acho
<b>Convocatoria:</b>	octubre 2018



## Resumen

Los Mercados suelen fijar los precios del producto, por lo cual, la reducción de costes es un factor de incalculable utilidad. Hoy en día, **calidad es sinónimo de supervivencia**. Este trabajo pretende hacer un estudio práctico exhaustivo de las principales herramientas estadísticas para la gestión de calidad y el mejoramiento de procesos en la producción. Dichas herramientas sirven para recopilar, visualizar y analizar datos de manera inteligible y organizada.

En cuanto al contenido del trabajo se refiere, éste se estructurará en dos grandes partes o bloques. El primero será una introducción al control estadístico de procesos y a su importancia en el entorno moderno de la empresa o administración.

El segundo bloque, a su vez, está dividido en dos grandes ramas: calidad cliente y calidad producción. En ambas se aplicarán las principales herramientas estadísticas para el control de calidad en diversos casos prácticos reales de la industria automovilística. En concreto, se aplicarán diagramas de control para el mejoramiento de un proceso de soldadura y se explorará un informe de producción mensual mediante los diagramas de Pareto, respectivamente.

El principal objetivo perseguido por el presente trabajo es incrementar la satisfacción del cliente mediante la mejora continua y la adición de valor en distintas etapas de producción.

## Resum

Els Mercats solen fixar els preus del producte, per la qual cosa, la reducció de costos és un factor d'incalculable utilitat. Avui dia, qualitat és sinònim de supervivència. Aquest treball pretén fer un estudi pràctic exhaustiu de les principals eines estadístiques per a la gestió de qualitat i la millora de processos en la producció. Aquestes eines serveixen per recopilar, visualitzar i analitzar dades de manera intel·ligible i organitzada.

Pel que fa al contingut del treball, aquest s'estructurarà en dos grans parts o blocs. El primer serà una introducció al control estadístic de processos i la seva importància en l'entorn modern de l'empresa o administració.

El segon bloc, al seu torn, està dividit en dues grans branques: qualitat client i qualitat producció. En ambdues s'aplicaran les principals eines estadístiques per al control de qualitat en diversos casos pràctics reals de la indústria automobilística. En concret, s'aplicaran diagrames de control per a la millora d'un procés de soldadura i s'explorà un informe de producció mensual mitjançant els diagrames de Pareto, respectivament.

El principal objectiu perseguit pel present treball és incrementar la satisfacció del client mitjançant la millora contínua i l'addició de valor en diferents etapes de producció.

## Abstract

The Market usually sets the prices of the product; therefore, the reduction of costs is a key factor. Nowadays, **quality is mandatory to survive**. This dissertation is about an exhaustive practical study of the main statistical tools for quality management and the improvement of production processes. These tools are useful to collect, visualize and analyse data in an intelligible and organized way.

The content of the dissertation will be structured in two chapters. The first one will be an introduction to the statistical control of processes and its importance at the modern environment of companies and administration.

The second one, at the same time, is divided into two main branches: customer quality and production quality. Several statistical tools for quality improvement will be applied at some real products of the automotive industry. Particularly, control diagrams will be use for the improvement of a welding process. Additionally, a monthly production report will be explored through the Pareto diagrams.

The main objective pursued by this dissertation is to increase the customer satisfaction through continuous improvement tools and the addition of value at different stages of production.

## Agradecimientos

Me gustaría, en primer lugar, agradecer al director del proyecto, Pablo Buenestado, la confianza depositada en mí por la realización de este documento, así como su interés por la evolución del proyecto. Me ha dotado de la libertad que necesita un proyecto de este tipo, puntualizando ciertos aspectos en los momentos que lo he necesitado.

El presente trabajo ha sido posible gracias a mis mentores en el departamento de Calidad de *Merit Automotive Electronics Systems*, a quienes también me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento, por confiar en mí desde el primer día e introducirme de una manera tan práctica a la gestión de calidad. Por compartir conmigo sus conocimientos, su tiempo y su dedicación en un sector tan exigente.

A mis padres, por darme vida y apoyarme en todo lo que me he propuesto.

A mi hermano, tu eres uno de mis motores que me impulsan a ser mejor cada día, para que siempre te sientas orgulloso de mi.

## Glosario

### **Acción correctiva (ISO 9000)**

Acción llevada a cabo para eliminar la causa de una no conformidad detectada u otra situación indeseable.

### **Calidad (ISO 9000)**

Grado en que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos.

### **Control de calidad (ISO 9000)**

Parte de la gestión de la calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de calidad.

### **Conformidad (ISO 9000)**

Cumplimiento de un requisito.

### **Eficacia (ISO 9000)**

Extensión en la que se realizan las actividades planificadas y se alcanzan los resultados planificados.

### **Especificación (ISO 9000)**

Documento que establece requisitos.

### **Exactitud (ISO 5725)**

Grado de coincidencia entre un resultado de medida y el valor de referencia aceptado.

### **Gestión de calidad (ISO 9000)**

Actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización en lo relativo a la calidad.

### **Incertidumbre (GUM)**

Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos a la magnitud medida.

### **Muestra (ISO 3534)**

Uno o más objetos extraídos de una población y destinados a proporcionar información sobre la población y, eventualmente, servir de base para una decisión sobre la población o el proceso que la ha producido.

### **Muestreo (ISO 3534)**

El procedimiento usado para seleccionar o constituir una muestra.

### **No conformidad (ISO 9000)**

Incumplimiento de un requisito.



**Proceso (ISO 9000)**

Conjunto de actividades mutuamente relacionadas, o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada (*inputs*) en resultados (*outputs*).

**Registro (ISO 9000)**

Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades desempeñadas.

**Requisito (ISO 9000)**

Necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria.

**Tolerancia (ISO 3534)**

Diferencia entre los límites superior e inferior de tolerancia.



# Índice

<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>RESUM</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>IV</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>V</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
1.2. Objetivos del trabajo.....	12
<b>2. INTRODUCCIÓN AL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS</b>	<b>13</b>
2.1. Fundamentos estadísticos .....	13
2.2. Causas comunes y causas asignables o especiales.....	14
2.3. ¿Qué condiciones son necesarias para poder aplicar el gráfico de control? .....	15
2.4. Capacidad del proceso .....	16
2.5. Índices de capacidad .....	16
2.5.1. Pp .....	18
2.5.2. PPL .....	20
2.5.3. PPU.....	23
2.5.4. Ppk .....	24
2.6. Clases de procesos según los índices de capacidad .....	26
2.7. Variabilidad a corto y largo plazo .....	28
2.8. Control estadístico de un proceso .....	28
<b>3. DIAGRAMAS DE CONTROL - CASO PRÁCTICO: SOLDADURA BY-PASS</b>	<b>31</b>
3.1. Explicación del proceso de soldadura: .....	31
3.2. Línea de soldadura del “by-pass” .....	45
3.3. Cronología del proceso .....	49
3.4. Objetivo del seguimiento interno:.....	54
3.5. Construcción de los diagramas de control .....	55
3.6. PROCESO DESCONTROLADO (de mayo 2017 a noviembre 2017).....	61
3.7. PROCESO CONTROLADO - Inicio del seguimiento (de noviembre 2017 a junio 2018) .....	65
3.8. PROCESO COMPLETO (mayo 2017 a junio 2018).....	69

3.9. Gráfico de valores individuales. Gráfico de intervalos para determinar la Intensidad Efectiva .....	74
3.10. Efectividad del seguimiento .....	78
3.10.1. Análisis de la capacidad del proceso transformado .....	89
<b>4. APORTACIÓN DE RESINA DIELECTRICA .....</b>	<b>93</b>
4.1. Construcción de la Regresión simple .....	94
4.2. Regresión aportación vs. temperatura .....	99
4.3. Conclusiones del estudio: .....	104
<b>5. CALIDAD PRODUCCIÓN .....</b>	<b>105</b>
5.1. Diagramas de Pareto .....	106
5.2. Informe mensual de producción – Junio 2018.....	107
5.2.1. Presión y Altura NOK - Anillo de la maneta DUCATO .....	111
5.2.2. Aspecto (backlighting) NOK - Switch P8 PEUGEOT/CITRÖEN .....	116
5.2.3. Tampografía NOK — HUB manetas JEEP .....	122
5.2.4. Atornillado NOK – Switch P8 Peugeot/Citröen .....	125
5.2.5. Clipado NOK – Switch A9 .....	132
<b>6. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL .....</b>	<b>137</b>
6.1. Recursos que se utilizan .....	137
6.2. Aspectos e impactos ambientales que considerar .....	137
6.2.1. Aspectos ambientales.....	137
6.2.2. Efectos/Impactos sobre el medio ambiente .....	138
6.3. Gestión de residuos .....	138
6.3.1. Residuos asimilables a urbanos .....	139
6.3.2. Residuos industriales inertes .....	139
6.3.3. Residuos peligrosos.....	139
6.4. Resina dieléctrica Epoxi 4307 .....	140
6.4.1. Manipulación y almacenamiento .....	140
6.4.2. Información ecológica.....	141
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>142</b>
<b>PRESUPUESTO .....</b>	<b>145</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>149</b>

<b>ANEXO I – FICHA TÉCNICA: ELECTRODOS DE TUNGSTENO</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO II – FICHA TÉCNICA: DINAMÓMETRO DIGITAL</b>	<b>152</b>
<b>ANEXO III – FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD: RESINA EPOXI 4307</b>	<b>158</b>



## 1. Introducción

Cada día nos enfrentamos con la evidencia de la superior calidad de los bienes y servicios importados. En un intento para competir, se han introducido técnicas y prácticas de gestión extranjeras y, a menudo, continúan desconociéndose las causas y las fuentes verdaderas de los problemas. A lo largo de los años, en los sistemas de fabricación nacionales se ha establecido una tolerancia con el *derroche* enmascarando los problemas, por lo cual hoy es muy difícil distinguir entre las causas y los síntomas (York [4]).

El mundo de la fabricación se está desplazando desde una cultura definible a una nueva posición en la que lo que cambia es precisamente la cultura. Nuestra dificultad para realizar la transición no estará en entender la tecnología o las técnicas, sino en nuestra capacidad para definir las características del nuevo orden. ¿A qué se parece? ¿Qué repercusiones tendrá? ¿Quién toma las decisiones? ¿Cuál en nuestro papel?

Me doy cuenta de que permanecer estático equivale a permitir que continúe la corrupción del sistema actual. La elección consciente consiste, en mi caso, en desarrollar una visión de futuro y trazar mi propio camino hacia el mismo, adaptándome y aprendiendo siempre a medida que avanzo.

A nivel personal, no simpatizo con la práctica habitual de enmascarar los problemas. Bajo mi punto de vista, es equivalente a engañarse a uno mismo. En cambio, siempre he creído en el impacto de las decisiones cotidianas. La suma de pequeñas aportaciones diarias, con el tiempo, constituyen un salto de mejora cualitativo.

El nuevo enfoque de calidad requiere una renovación total de la mentalidad de las personas y por tanto una nueva cultura empresarial; ya que entre otros aspectos se tiene que poner en práctica una gestión participativa y una revalorización del personal no aplicada en los modos de administración tradicional.

Hay que establecer la mentalidad de cero defectos. Esto tiene el propósito de erradicar el desperdicio, en todas las formas como se presente, eliminando las actividades que no agregan valor. “Cero defectos” consiste en tener una actitud sistemática hacia el no-error. No se trata de perseguir a los subalternos/becarios/operarios porque cometen errores, ya que eso mataría su iniciativa, de lo que se trata es de despertar la conciencia de no equivocarse.

Siento una inquietud interna por formar parte de esa etapa de transición. Me gustaría ser partícipe de la renovación total de los sistemas obsoletos, que exige el mundo actual. Mediante el presente trabajo, he ido descubriendo, de una manera muy práctica y autónoma, una rama fundamental en la gestión de calidad. La tremenda aplicabilidad de las herramientas estadísticas principales para el

aseguramiento de la calidad puede contribuir determinadamente en la implantación de nuevos cambios de mejora.

## **1.2. Objetivos del trabajo**

Los objetivos del trabajo son básicamente los siguientes:

- ✓ Identificar los problemas.
- ✓ Distinguir los problemas de calidad de acuerdo con su importancia o a su significación.
- ✓ Identificar las posibles causas del problema que se ha considerado más importante o más significativo.
- ✓ Identificar las posibles metodologías para resolver el problema.
- ✓ Seleccionar entre las soluciones factibles la que podría considerarse como la mejor.
- ✓ Planificar la aplicación de la solución elegida.
- ✓ Implantar dicha solución.
- ✓ Verificar la eficacia de la solución implantada.

## 2. Introducción al control estadístico de procesos

### ¿Por qué varían los procesos?

Un proceso industrial está sometido a una serie de factores de carácter aleatorio que hacen **imposible fabricar dos productos exactamente iguales**. Dicho de otra manera, las características del producto fabricado no son uniformes y presentan una **variabilidad**. Esta variabilidad es claramente indeseable y **el objetivo ha de ser reducirla lo más posible o al menos mantenerla dentro de unos límites**. El *Control Estadístico de Procesos* es una herramienta útil para alcanzar este segundo objetivo. Dado que su aplicación es en el momento de la producción, puede decirse que esta herramienta contribuye a la **mejora de la calidad de la fabricación**. Permite también aumentar el conocimiento del proceso (puesto que se le está tomando “*el pulso*” de manera habitual) lo cual en algunos casos puede dar lugar a la mejora del mismo.

### 2.1. Fundamentos estadísticos

Para el entendimiento del *Control Estadístico de Procesos* no es necesario ser un experto en estadística, pero es preciso recordar al menos los puntos que se describen a continuación:

#### Distribución Normal o Campana de Gauss.

La distribución normal es, desde luego, la función de densidad de probabilidad “estrella” en estadística. Depende de dos parámetros  $\mu$  y  $\sigma$ , que son la media y la desviación típica respectivamente. Tiene una forma acampanada (de ahí su nombre) y es simétrica respecto a  $\mu$ . Llevando múltiplos de  $\sigma$  a ambos lados de  $\mu$ , nos encontramos con que el 68% de la población está contenido en un entorno  $\pm 1\sigma$  alrededor de  $\mu$ , el 95% de la población está contenido en un entorno  $\pm 2\sigma$  alrededor de  $\mu$  y que el 99,73% está comprendido en  $\pm 3\sigma$  alrededor de  $\mu$  (Rojas [17]).

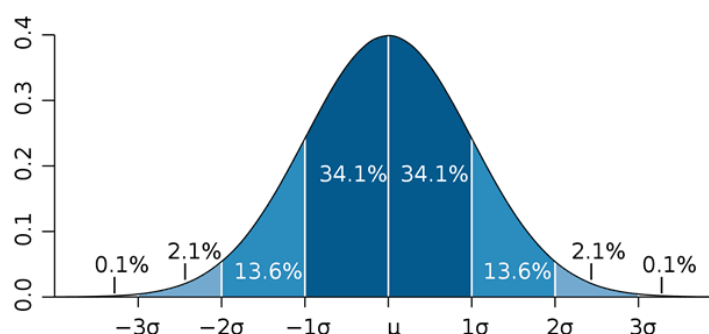


Figura 2.1. Distribución normal típica. (Fuente: [16])

### Teorema del Límite Central.

El teorema del límite central (TLC) establece que si una variable aleatoria (v.a.) se obtiene como una suma de muchas causas independientes, siendo cada una de ellas de poca importancia respecto al conjunto, entonces su distribución es asintóticamente normal.

En otras palabras, el teorema del límite central dice que se puede utilizar la distribución normal para describir el comportamiento de una media muestral incluso si los valores individuales que componen la media de la muestra no son normales en sí mismos. Pero esto sólo es posible si el tamaño de la muestra  $n$  es "lo suficientemente grande".

Si  $X = x_1 + x_2 + \dots + x_n$  donde las  $x_i$  son v.a. de la media  $\mu_i$  y varianza  $\sigma_i^2$

$$\text{Entonces:} \quad X \rightarrow N\left(\sum_{i=1}^n \mu_i, \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}\right) \quad (\text{Ec. 2.1})$$

### Distribución de las medias muestrales

Si  $X$  es una v.a.  $N(\mu, \sigma)$  de la que se extraen muestras de tamaño  $n$ , entonces las medias muestrales se distribuyen según otra ley normal:

$$x'_m \propto N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Obsérvese que, como consecuencia del TLC, la distribución de las medias muestrales tiende a ser normal aún en el caso que la población base no lo sea, siempre que el tamaño de la muestra sea suficientemente grande  $n > 25$ , si bien este número depende de la asimetría de la distribución.

## 2.2. Causas comunes y causas asignables o especiales

El proceso está afectado por un gran número de factores sometidos a una variabilidad (por ejemplo, oscilaciones de las características del material utilizado, variaciones de temperatura y humedad ambiental, variabilidad introducida por el operario, repetitividad propia de la maquinaria utilizada, etc.), que inciden en él y que inducen una variabilidad de las características del producto fabricado. Si el proceso está operando de manera que existen pequeñas oscilaciones de todos estos factores, pero de modo que ninguno de ellos tiene un efecto preponderante frente a los demás, entonces en virtud del TLC es esperable que la característica de calidad del producto fabricado se distribuya de acuerdo con una ley normal (Rojas [17]).

Al conjunto de esta multitud de factores se denominan **causas comunes**.



Por el contrario, si circunstancialmente incide un factor con un efecto preponderante, entonces la distribución de la característica de calidad no tiene por qué seguir una ley normal y se dice que está presente una **causa especial o assignable**. Por ejemplo, si en un proceso industrial se está utilizando materias primas procedentes de un lote homogéneo y se continúa la fabricación con materias primas procedentes de otro lote, cuyas características son muy diferentes de las anteriores, es muy posible que las características de los productos fabricados sean significativamente distintas a partir de la utilización del nuevo lote (Rojas [17]).

Por definición, **se dice que un proceso está bajo control estadístico cuando no hay causas asignables presentes**. El Control Estadístico de Procesos se basa en analizar la información aportada por el proceso para detectar la presencia de causas asignables y habitualmente se realiza mediante una construcción gráfica denominada Gráfico de Control. Si el proceso se encuentra bajo control estadístico es posible realizar una predicción del intervalo en el que se encontrarán las características de la pieza fabricada.

### 2.3. ¿Qué condiciones son necesarias para poder aplicar el gráfico de control?

Para que tenga sentido la aplicación de los gráficos de control, el proceso ha de tener una estabilidad suficiente que, aun siendo aleatorio, permita un cierto grado de predicción. En general, un proceso caótico no es previsible y no puede ser controlado. A estos procesos no se les puede aplicar el gráfico de control ni tiene sentido hablar de capacidad. Un proceso de este tipo debe ser estudiado mediante herramientas estadísticas avanzadas hasta que el grado de conocimiento empírico obtenido sobre el mismo permita conocer las causas de la estabilidad y se eliminen (Rojas [17]). En lo sucesivo, se supondrá que los procesos tienen un cierto grado de estabilidad. Podemos distinguir dos casos:

- ✓ El proceso está regido por una función de probabilidad cuyos parámetros permanecen constantes a lo largo del tiempo. Este sería el caso de un proceso normal de media constante y desviación típica constante. Este es el caso ideal y al que se pueden aplicar los gráficos de control para detectar la presencia de causas asignables.
- ✓ El proceso está regido por una función de probabilidad alguno de cuyos parámetros varía ligeramente a lo largo del tiempo. Este sería el caso de un proceso normal cuya media varía a lo largo del tiempo (por ejemplo, una herramienta de corte que va desgastando la cuchilla de corte). Estrictamente hablando, este desgaste de la herramienta sería una causa especial; sin embargo, si puede conocerse la velocidad de desgaste, podría compensarse resultando un proceso análogo al caso anterior.

Puede ocurrir que las características propias del proceso hagan que alguno de los factores de variabilidad intrínsecos al mismo, tenga un efecto preponderante, de modo que en este caso la distribución no sea normal. Un ejemplo puede ser la distribución de los diámetros de un proceso de taladrado, cuyo valor inferior está limitado por el propio diámetro de la broca, mientras que la distribución presenta una cola hacia diámetros mayores debido a posibles incidencias oblicuas de la broca. En este caso, **se dice que el proceso está bajo control estadístico cuando no hay otras causas asignables presentes**. Esto es equivalente a decir que el proceso permanezca estable, es decir que los parámetros de la distribución permanezcan invariables y, por lo tanto, puede realizarse una predicción del intervalo en el que se encontrarán los valores de la característica de respuesta (Rojas [17]).

Por consiguiente, se debe tratar de conocer todo lo que sea posible de los fundamentos tecnológicos del proceso, ya que puede dar pistas sobre el tipo de distribución que seguirán los datos. En ningún caso debe *“darse la normalidad por supuesta”*. Debe comprobarse y en caso de que los datos no sean normales, deben aplicarse métodos especiales.

## 2.4. Capacidad del proceso

Como consecuencia de todo lo anterior, si un proceso normal está en control estadístico, la característica de calidad del 99,73% de los elementos fabricados estará comprendida entre  $(\mu - 3\sigma)$  y  $(\mu + 3\sigma)$ . El parámetro  $\mu$  depende del punto en el que centremos el proceso. Sin embargo  $\sigma$  depende del número y variabilidad de las causas comunes del proceso y por lo tanto es intrínseca a él. Por lo tanto,  $6\sigma$  **es la Variabilidad Natural del Proceso o Capacidad del Proceso**. De ahí viene el concepto de *Six Sigma*. Por definición:

$$\text{CAPACIDAD DEL PROCESO} = 6\sigma$$

Es esencial resaltar que la variabilidad natural del proceso,  $6\sigma$ , es intrínseca a él e independiente de las tolerancias que se asignen. Por lo tanto, si  $6\sigma$  es menor que el intervalo de las tolerancias a cumplir, necesariamente algunos productos fabricados estarán fuera de tolerancia y serán no conformes. Si no se tiene en cuenta este hecho y se pretende corregir a base de reajustar el proceso, es decir modificar el centrado, lo único que se consigue es aumentar la variabilidad de este.

## 2.5. Índices de capacidad

Los índices de capacidad se pueden clasificar según su posición y alcance temporal en:

### Respecto a su posición

- Índices centrados con respecto a los límites

- Índices descentrados con respecto a los límites
- Solo con límite superior
- Solo con límite inferior

#### Respecto a su alcance temporal

- A corto plazo: Capacidad potencial
- A largo plazo: Capacidad global

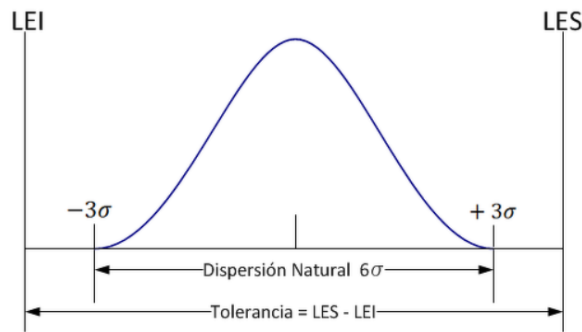
**Tabla 2.1.** Índices de capacidad. (Fuente: [12])

	Centrado	No centrado	Con límite superior	Con límite inferior
<b>Corto plazo</b>	$C_P$	$C_{PK}$	$C_{PU}$	$C_{PL}$
<b>Largo plazo</b>	$P_P$	$P_{PK}$	$P_{PU}$	$P_{PL}$

Sí una vez determinadas las capacidades se encuentra una diferencia significativa entre los índices de corto y largo plazo, es un síntoma de inconsistencias en el proceso, y de que éste es susceptible de aplicar mejoras. Los parámetros que proporcionan una ayuda para interpretar la capacidad de un proceso a largo plazo se encuentran recopilados en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2.** Parámetros para interpretar la capacidad. (Fuente: propia)

<b>Término</b>	<b>Descripción</b>
<b>LES</b>	<i>Límite de especificación superior</i>
<b>LEI</b>	<i>Límite de especificación inferior</i>
<b>Toler</b>	<i>Multiplicador de la tolerancia sigma (6 como valor pred.)</i>
$\sigma$	<i>Desviación estándar general</i>
$\mu$	<i>Media del proceso</i>



**Figura 2.2.** Dispersión y tolerancia. (Fuente: [16])

### 2.5.1. Pp

$$Pp = \frac{LES - LEI}{Toler * \sigma} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

El Pp es una medida de la capacidad general del proceso. Es básicamente una relación que compara dos valores:

- La dispersión de especificación o tolerancia (LES – LEI)
- La dispersión del proceso (la variación de  $6\sigma$ ) con base en la desviación estándar general

El Pp evalúa la capacidad general con base a la variación del proceso, no en su ubicación. Se debe proporcionar tanto un límite de especificación inferior (LEI) como un límite de especificación superior (LES) para calcular el índice Pp.

#### Interpretación

Puesto que el Pp no considera la ubicación del proceso, indica la capacidad general que podría alcanzar el proceso si estuviera centrado. Por lo general, los valores de Pp más altos indican un proceso más capaz. Los valores de Pp más bajos indican que el proceso puede necesitar mejoras (soporte Minitab [12]).

- **Pp bajo**

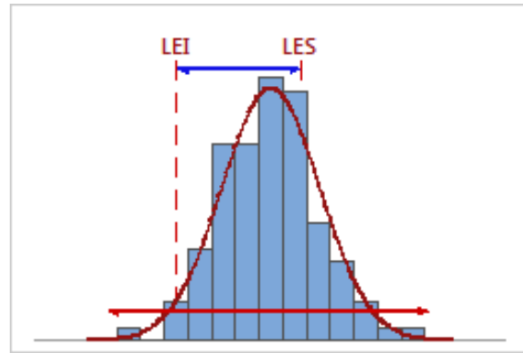


Figura 2.3. Índice Pp bajo (Fuente: [12])

En la figura 2.3., la dispersión de especificación es menor que la dispersión general del proceso. Por lo tanto, el Pp es bajo (0,40) y la capacidad del proceso es deficiente con base en su variabilidad.

- **Pp alto**

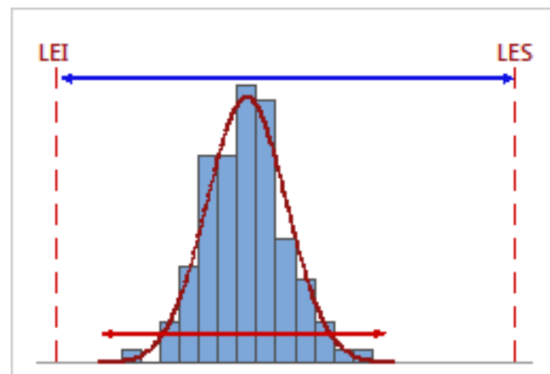


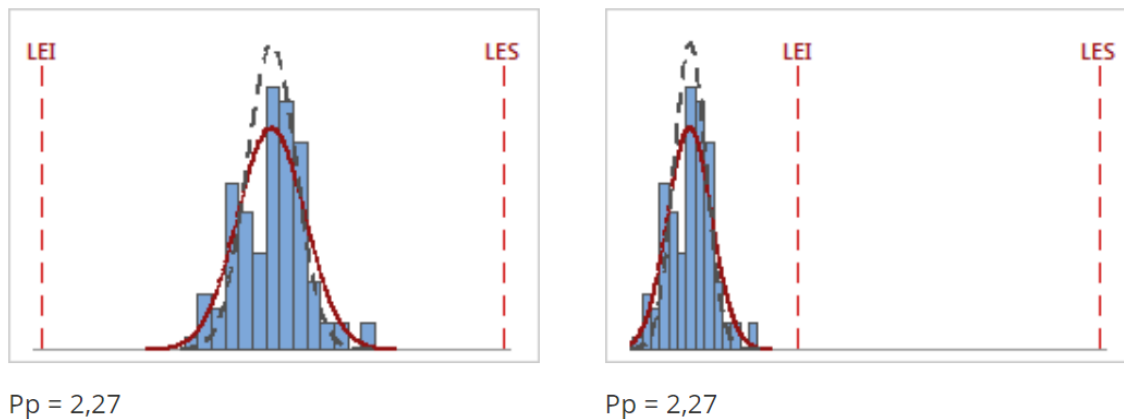
Figura 2.4. Índice Pp alto (Fuente: [12])

En la figura 2.4., la dispersión de especificación es considerablemente mayor que la dispersión general del proceso. Por lo tanto, el Pp es alto (1,80) y la capacidad general del proceso es adecuada con base en su variabilidad. Se puede comparar el Pp con otros valores para obtener más información sobre la capacidad del proceso (soporte Minitab [12]).

- Comparar el Pp con un valor de referencia para evaluar la capacidad general del proceso. Muchas industrias utilizan un valor de referencia de 1,33. Si el Pp es menor que el valor de referencia, es recomendable intentar mejorar el proceso reduciendo su variación.
- Comparar el Pp y el Ppk. Si el Pp y el Ppk son aproximadamente iguales, entonces el proceso está centrado entre los límites de especificación. Si el Pp y el Ppk son diferentes, entonces el proceso no está centrado.

## Precaución

Debido a que el índice Pp no considera la ubicación del proceso, no indica qué tan cerca está el proceso de la región objetivo que definen los límites de especificación. Por ejemplo, en la figura 2.5. se muestran dos procesos con el mismo valor de Pp, aunque un proceso se encuentra dentro de los límites de especificación y el otro no (soporte Minitab [12]).



**Figura 2.5.** Idénticos Pp con diferente ubicación (Fuente: [12])

### 2.5.2. PPL

$$PPL = \frac{\mu - LEI}{\left(\frac{Toler}{2}\right) * \sigma} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

El PPL es una medida de la capacidad general del proceso. El PPL es una relación que compara dos valores:

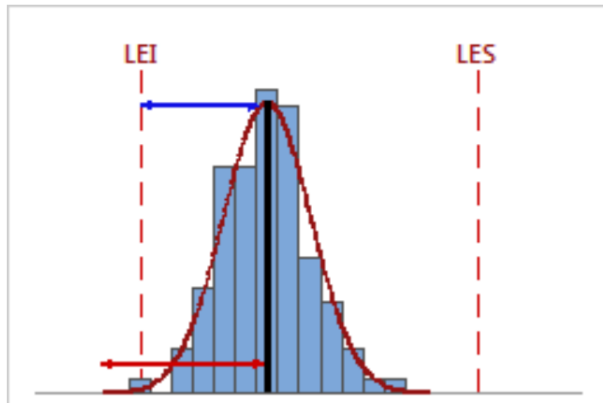
- La distancia de la media del proceso al límite de especificación inferior (LEI)
- La dispersión unilateral del proceso (la variación de 3  $\sigma$ ) con base en la desviación estándar general.
- Puesto que el PPL utiliza información tanto sobre la media como sobre la dispersión del proceso, evalúa la ubicación y la variación del proceso.

### Interpretación

El PPL sirve para evaluar la capacidad general del proceso en relación con su límite de especificación inferior.

Por lo general, los valores de PPL más altos indican que el proceso es capaz en la cola inferior de su distribución. Los valores de PPL más bajos indican que el proceso puede necesitar mejoras.

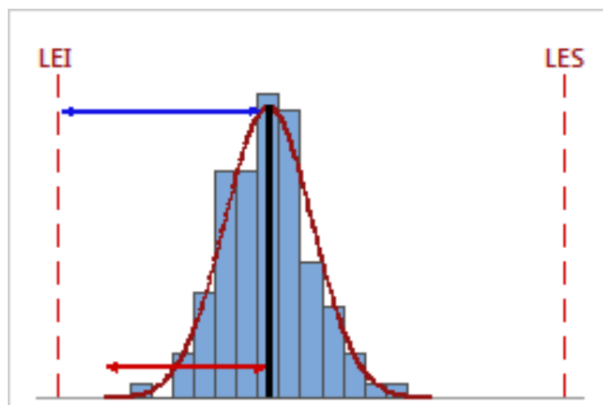
- **PPL bajo**



**Figura 2.6.** Índice PPL bajo (Fuente: [12])

En la figura 2.6., la distancia de la media del proceso al límite de especificación inferior (LEI) es menor que la dispersión unilateral del proceso. Por lo tanto, el PPL es bajo (0,80) y la capacidad general del proceso es deficiente en relación con su límite de especificación inferior (soporte Minitab [12]).

- **PPL alto**



**Figura 2.7.** Índice PPL alto (Fuente: [12])

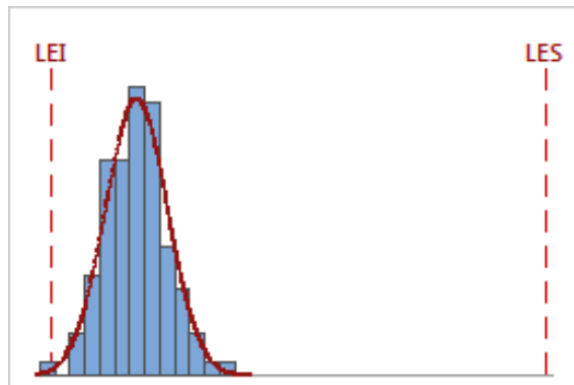
En la figura 2.7., la distancia de la media del proceso al límite de especificación inferior (LEI) es mayor que la dispersión unilateral del proceso. Por lo tanto, el PPL es alto (1,60) y la capacidad general del proceso es adecuada en relación con su límite de especificación inferior (soporte Minitab [12]).

Se puede comparar el PPL con otros valores para obtener más información sobre la capacidad del proceso.

- Comparar el PPL con un valor de referencia para evaluar la capacidad general del proceso. Muchas industrias utilizan un valor de referencia de 1,33. Si el PPL es menor que el

valor de referencia es recomendable considerar formas de mejorar el proceso, como reducir su variación o desplazar su ubicación.

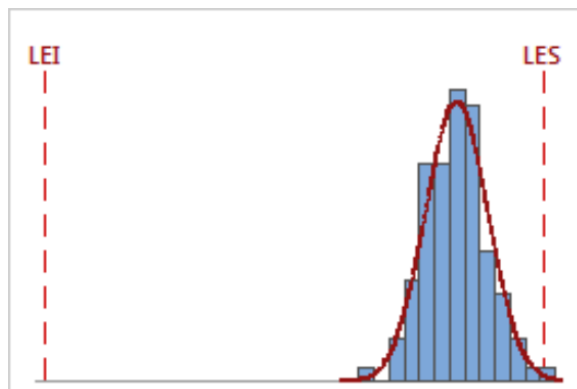
- Si se tiene límites de especificación superior e inferior, comparar el PPL y el PPU. Si el PPL no es aproximadamente igual al PPU, el proceso no está centrado.
- **PPL = 0,92, PPU = 4,37**



**Figura 2.8.** Ejemplo de PPU mayor que PPL (Fuente: [12])

Cuando  $PPL < PPU$ , es más probable que el proceso produzca unidades defectuosas que no satisfagan el límite de especificación inferior (ver figura 2.8.).

- **PPL = 4,37, PPU = 0,92**



**Figura 2.9.** Ejemplo de PPL mayor que PPU (Fuente: [12])

Cuando  $PPU < PPL$ , es más probable que el proceso produzca unidades defectuosas que no satisfagan el límite de especificación superior (ver figura 2.9.).



### 2.5.3. PPU

$$PPU = \frac{LES - \mu}{\left(\frac{Toler}{2}\right) * \sigma} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

El PPU es una medida de la capacidad general del proceso con base en su límite de especificación superior. El PPU es una relación que compara dos valores:

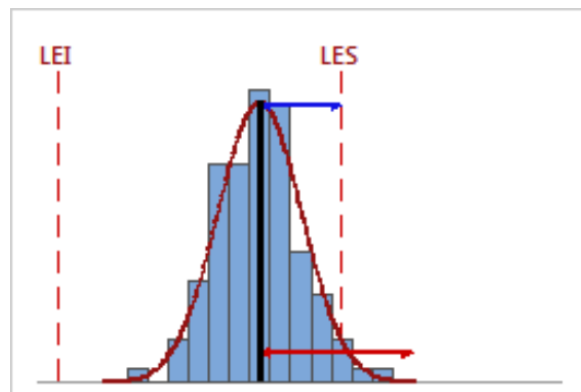
- La distancia de la media del proceso al límite de especificación superior (LES)
- La dispersión unilateral del proceso (la variación de 3  $\sigma$ ) con base en la desviación estándar general
- Puesto que el PPU considera tanto la media como la dispersión del proceso, el PPU evalúa la ubicación y la variación del proceso.

#### Interpretación

El PPU sirve para evaluar la capacidad general del proceso en relación con su límite de especificación superior.

Por lo general, los valores de PPU más altos indican que el proceso es capaz en la cola superior de su distribución. Los valores de PPU más bajos indican que el proceso podría necesitar mejoras.

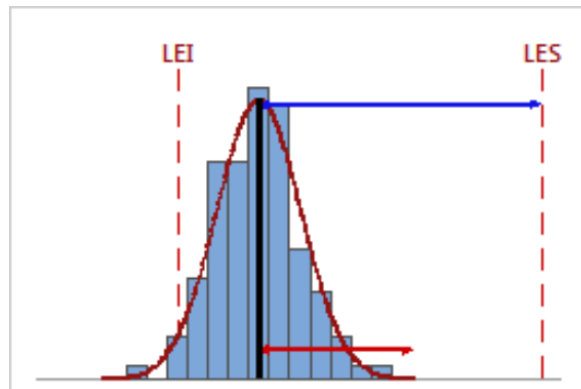
#### ▪ PPU bajo



**Figura 2.10.** Índice PPU bajo (Fuente: [12])

En la figura 2.10., la distancia de la media del proceso al límite de especificación superior (LES) es menor que la dispersión unilateral del proceso. Por lo tanto, el PPU es bajo (0,66) y la capacidad general del proceso es deficiente en relación con su límite de especificación superior (soporte Minitab [12]).

▪ PPU alto



**Figura 2.11.** Índice PPU alto (Fuente: [12])

En la figura 2.11., la distancia de la media del proceso al límite de especificación superior (LES) es considerablemente mayor que la dispersión unilateral del proceso. Por lo tanto, el PPU es alto (2,76) y la capacidad general del proceso es adecuada en relación con su límite de especificación superior (soporte Minitab [12]).

Se puede comparar el PPU con otros valores para obtener más información sobre la capacidad del proceso.

- Comparar el PPU con un valor de referencia para evaluar la capacidad general del proceso. Muchas industrias utilizan un valor de referencia de 1,33. Si el PPU es menor que el valor de referencia es recomendable considerar formas de mejorar el proceso, como reducir su variación o desplazar su ubicación.
- ✓ Si se tiene límites de especificación superior e inferior, comparar el PPL y el PPU. Si el PPL no es aproximadamente igual al PPU, el proceso no está centrado.

#### 2.5.4. Ppk

$$Ppk = \min\{PPU, PPL\} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

El Ppk es una medida de la capacidad general del proceso y es igual al mínimo entre el PPU y el PPL. El Ppk es una relación que compara dos valores:

- La distancia de la media del proceso al límite de especificación más cercano (LES o LEI)
- La dispersión unilateral del proceso (la variación de  $3\sigma$ ) con base en su variación general
- El Ppk evalúa tanto la ubicación como la variación general del proceso.

## Interpretación

El Ppk sirve para evaluar la capacidad general del proceso con base tanto en la ubicación como en la dispersión del proceso. Por lo general, los valores de Ppk más altos indican un proceso más capaz. Los valores de Ppk más bajos indican que el proceso puede necesitar mejoras (soporte Minitab [12]).

- **Ppk bajo**

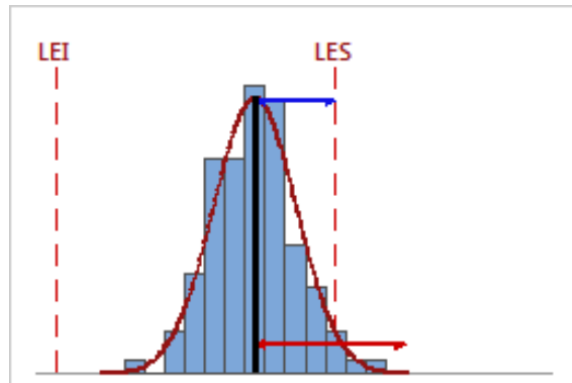


Figura 2.12. Índice Ppk bajo (Fuente: [12])

En la figura 2.12., la distancia de la media del proceso al límite de especificación más cercano (LES) es menor que la dispersión unilateral del proceso. Por lo tanto, el Ppk es bajo (0,66) y la capacidad general del proceso es deficiente (soporte Minitab [12]).

- **Ppk alto**

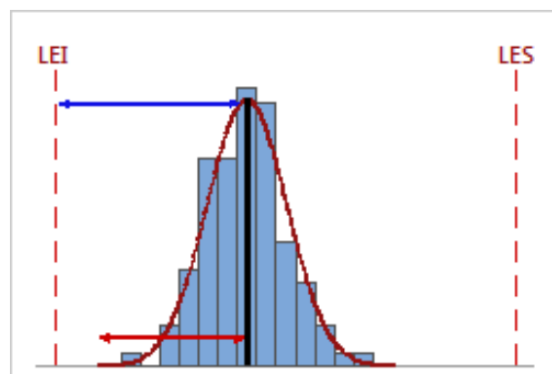


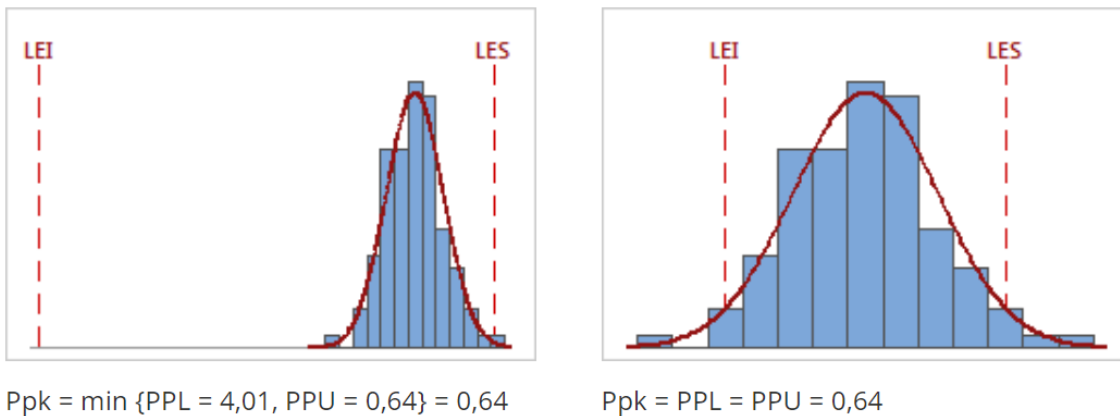
Figura 2.13. Índice Ppk alto (Fuente: [12])

En la figura 2.13., la distancia de la media del proceso al límite de especificación más cercano (LEI) es mayor que la dispersión unilateral del proceso. Por lo tanto, el Ppk es alto (1,68) y la capacidad general del proceso es adecuada. Se puede comparar el Ppk con otros valores para obtener más información sobre la capacidad del proceso (soporte Minitab [12]).

- Comparar el Ppk con un valor de referencia que represente el valor mínimo que es aceptable para su proceso. Muchas industrias utilizan un valor de referencia de 1,33. Si el Ppk es menor que el valor de referencia, es recomendable considerar formas de mejorar el proceso.
- Comparar el Pp y el Ppk. Si el Pp y el Ppk son aproximadamente iguales, entonces el proceso está centrado entre los límites de especificación. Si el Pp y el Ppk son diferentes, entonces el proceso no está centrado.

### Precaución

El índice Ppk solamente representa un lado de la curva del proceso y no mide cómo funciona el proceso en el otro lado de la curva. Por ejemplo, la figura 2.14. muestra dos procesos que tienen valores de Ppk idénticos. Sin embargo, un proceso no satisface ambos límites de especificación y el otro solamente no satisface el límite de especificación inferior (soporte Minitab [12]).



**Figura 2.14.** Índices Ppk idénticos con resultados distintos (Fuente: [12])

## 2.6. Clases de procesos según los índices de capacidad

La interpretación de los índices de capacidad tanto a largo como corto plazo es análoga.

Fundamentalmente, si la variación del proceso es mayor que la amplitud de las especificaciones, entonces el Cp/Pp es menor que 1, lo que sería evidencia de que no se está cumpliendo con las especificaciones. Si el Cp/Pp es mayor que 1 es una evidencia de que el proceso es potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones.

El Cp/Pp se utiliza para conocer y tomar decisiones sobre el proceso dependiendo de su valor, es el tipo de proceso y la decisión que debe de tomarse. La tabla 2.3. nos muestra la interpretación cualitativa del índice Cp/Pp.

**Tabla 2.3.** Clase de proceso según el valor de Cp. (Fuente: [12])

Valor del Cp.	Clase de proceso	Decisión
$Cp. > 2$	Clase mundial	Tiene calidad seis sigma
$1.33 \leq Cp. \leq 2$	1	Mas que adecuado
$1 \leq Cp. < 1.33$	2	Adecuado para el trabajo, pero requiere de un control estricto conforme el Cp. se acerca a uno.
$0.67 \leq Cp. < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Un análisis del proceso es necesario. Requiere modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria
$Cp. < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones serias.

Cuando se determina que el proceso no es apto para producir las unidades dentro de las especificaciones establecidas, deben adoptarse diversas medidas, dentro de las que se encuentran:

- ✓ Mejorar el proceso
- ✓ Cambiar el proceso por uno mejor
- ✓ Cambiar la especificación (No recomendado)
- ✓ Rediseñar el producto
- ✓ Inspeccionar al 100% (Ineficiente)
- ✓ Obtener una desviación o permiso de aceptación (Temporal)
- ✓ Tercerizar la elaboración de la parte (En caso de ser posible)
- ✓ Dejar de hacer el producto (No recomendado)

El índice Cpk/Ppk va a ser igual al Cp/Pp cuando la media del proceso se ubique en el punto medio de las especificaciones. Sí el proceso no está centrado entonces el valor del índice de Cpk/Ppk será menor que el Cp/Pp.

- Valores mayores a 1 de Cpk/Ppk indican que el proceso está fabricando artículos que cumplen con las especificaciones.
- Valores menores a 1 de Cpk/Ppk indican que el proceso está produciendo artículos fuera de las especificaciones.

- Valores de 0 o negativos de Cpk/Ppk indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones.

Como conclusión, el Cp/Pp mide la capacidad potencial del proceso; mientras que el Cpk/Ppk mide la capacidad real.

## 2.7. Variabilidad a corto y largo plazo

Un proceso productivo tiene habitualmente dos tipos de variabilidad:

- ✓ Variabilidad inherente del proceso. Aquella componente de la variabilidad debida a causas comunes solamente y representa la variabilidad que puede estar presente entre elementos fabricados en intervalos próximos (Rojas [17]).
- ✓ Variabilidad total del proceso. Es la variación resultante de todas las causas de variabilidad (causas comunes y especiales), en la que se tienen en cuenta factores como el desgaste, cambios de lote de materia prima, etc. Representa la variabilidad que puede afectar al conjunto de los elementos fabricados recibidos por el cliente (Rojas [17]).

## 2.8. Control estadístico de un proceso

Un estudio estadístico de un proceso tiene por objeto de conocer:

- ✓ Distribución estadística que lo describe (normal o no normal)
- ✓ El patrón de variabilidad del proceso y principales factores relacionados con la variabilidad.
- ✓ Comprender los fenómenos físicos y tecnológicos importantes para el proceso.

Se realiza tomando muestras de la producción. A partir de aquí existen muchas diferencias en cuanto al modo de tomar las muestras. En particular es frecuente que se requiera que el proceso esté en control estadístico. Este requisito es lógico cuando se pretende estudiar la dispersión en los datos. En general, cuando se desee estimar la variabilidad total del proceso (conocida también como variabilidad a largo plazo), las muestras deben ser representativas de la producción, por ejemplo, debe incluir producciones con lotes distintos de materia prima, realizada por operarios diferentes, en varios turnos. Obviamente, según sea el modo en el que se tomen las muestras los resultados serán muy diferentes. En los párrafos siguientes se dan algunas directrices para diseñar un estudio de capacidad de proceso

y interpretar sus resultados (Rojas [17]). En la realización de un estudio estadístico para controlar un proceso, es importante realizar los siguientes pasos:

- **Comprender los fenómenos físicos y tecnológicos importantes para el proceso**

Naturalmente, de un proceso no se conoce “todo”, ya que si fuera así no tendría sentido realizar un estudio sobre él. Sin embargo, normalmente se saben algunos aspectos que deben tenerse en cuenta, ya que influirán en los datos (Rojas [17]). Por ejemplo, si se trata de un proceso de mecanizado, es esperable que el desgaste de la herramienta produzca un desplazamiento de la media, etc. Como resultado de la revisión de los conocimientos disponibles se puede llegar a lo siguiente:

- ✓ Establecimiento de las posibles fuentes de variabilidad de proceso (por ejemplo, una deriva temporal en el caso del mecanizado, variabilidad entre lotes, variabilidad posicional en la pieza, etc.).
- ✓ Verosimilitud de esperar una distribución normal de los datos o si por el contrario existe alguna razón (por ejemplo, asimetrías) que sugieren otro tipo de distribución.

- **Definición de la estratificación de las medidas a tomar**

En función de las consideraciones anteriores, se debe definir el Grupo Homogéneo Racional (GHR) del que se tomarán las muestras y que se espera que estén libres de causas especiales, de manera que la variación dentro de estos grupos pueda ser representativa de la variación del proceso cuando se eliminen todas las causas especiales (Rojas [17]). Por ejemplo, si se han identificado como posibles fuentes de variabilidad de un proceso de mecanizado de un vástago cilíndrico:

- ✓ El desgaste de la herramienta (asociado al tiempo de trabajo).
- ✓ El proveedor de la materia prima.
- ✓ El lote suministrado por el proveedor.
- ✓ Si el diámetro medido corresponde a la primera cara o a la segunda (posición en la pieza).

En este caso cuando se mida la muestra es necesario identificar la hora en la que se fabricó la pieza, qué proveedor y qué lote de materia prima se empleó y a qué cara corresponde la medida, ya que de otro modo será imposible cuantificar las fuentes de variabilidad. En todos los casos debe pensarse que la propia medida puede ser una fuente de variabilidad más, por lo que deben tomarse las siguientes precauciones:

- ✓ Debe definirse el procedimiento de medida con todo detalle. En un caso simple como este, podría bastar con indicar a un técnico de taller que la medida debe tomarse con un micrómetro calibrado y medirse dos diámetros a 90º y calcular la media. Si la medida fuese más compleja, sería necesario establecer un procedimiento escrito.
- ✓ Si no se conoce la repetitividad y reproducibilidad del método de medida a emplear, debe realizarse un estudio R&R (repetitividad y reproducibilidad).

Como resultado de esta fase debe prepararse al menos una plantilla de recogida de datos que evite que se produzcan errores en la recogida o registro de estos.

- **Estabilizar del proceso**

Para tomar los datos, el proceso debe operar de manera que el GRH se encuentre libre de otras posibles causas especiales. Para que tenga sentido la aplicación de los gráficos de control, el proceso ha de tener una estabilidad suficiente que, aun siendo aleatorio, permita un cierto grado de predicción. En general, un proceso caótico no es previsible y no puede ser controlado. A estos procesos no se les puede aplicar el gráfico de control ni tiene sentido hablar de un estudio de capacidad. Un proceso de este tipo debe ser estudiado mediante herramientas estadísticas avanzadas hasta que el grado de conocimiento empírico obtenido sobre el mismo permita estabilizarlo (Rojas [17]).

- **Toma de los datos**

Generalmente la toma de los datos se extiende en el tiempo y se toman a través de un operario. Este intervalo de tiempo puede ser largo si se pretende capturar fuentes de variabilidad cíclica. Consecuentemente, las posibilidades de errores por “malentendidos” son altas. Por esta razón, es muy importante definir una plantilla de toma de datos lo más explícita posible y no esperar a que estén todos los datos tomados para “echar un vistazo”. Debe evitarse la situación de descubrir que los datos que se han ido tomando durante semanas...no valen para nada (Rojas [17]).

- **Comprobación de la normalidad de los datos**

Una vez obtenidos los datos se debe comprobarse la normalidad. Al menos deben ser normales los datos correspondientes al mismo GHR (en caso de que los datos en su conjunto no sean normales, pero si lo sean los datos de los GHR, quiere decir que alguno de los criterios seguidos en la estratificación de las muestras es una causa especial) (Rojas [17]).



### 3. Diagramas de Control - Caso práctico: Soldadura by-pass

#### 3.1. Explicación del proceso de soldadura:

Antes de indagar en la construcción de los diagramas de control y la interpretación de los resultados clave, se ha creído conveniente explicar el fundamento físico del proceso de soldadura usado para extraer los datos.

Además, también se detallarán varios parámetros necesarios para el aseguramiento de una soldadura de calidad, así como el proceso de toma de muestras y recopilación de datos. Tal y como se explicará a continuación, en el proceso existen ciertas situaciones críticas e inevitables, que deben ser estudiadas con minuciosidad.

Asimismo, también se presentará la función de dicha soldadura en el producto final y cuáles son las consecuencias de una soldadura defectuosa. Todo el contenido teórico sobre el proceso de la soldadura de forjado ha sido extraído de la referencia (Puente [14]).

#### Introducción a la soldadura por forjado o por puntos de resistencia

La soldadura por forjado es el sistema que se emplea con mayor frecuencia en la fabricación de piezas del sector del automovilismo, debido a las ventajas que posee frente a otros sistemas de unión:



**Figura 3.1.** Ejemplo de equipo de soldadura por forjado (Fuente: [14])

- ✓ Siempre que su ejecución se lleve a cabo de la manera correcta y los parámetros estén bien ajustados, se obtienen soldaduras de buena calidad y uniformes, que presentan una zona fundida homogénea, sin huecos, rechupados o grietas.

- ✓ Su manejo es sencillo, ya que la mayoría de los equipos utilizados hoy en día para la manufactura son automáticos. Por esta razón, la calidad final ya no depende tanto de la destreza del operario, sino de la regulación de los parámetros de la máquina de acuerdo con el tipo de trabajo que se desea realizar.
- ✓ Ausencia de deformaciones y cambios en la estructura del material, debido a que la aplicación de calor es mínima y se lleva a cabo de forma muy localizada en la zona de contacto de los electrodos.
- ✓ Las superficies que se obtienen son relativamente suaves, libres de fusión superficial o huellas profundas, que hacen innecesario un repaso posterior (retrabajo) como operación de acabado.
- ✓ No requiere material de aportación como estaño, lo cual reduce costes y el riesgo de contaminación en la soldadura.
- ✓ El desmontaje de piezas unidas por puntos de resistencia es sencillo. Haciendo uso de las herramientas específicas para esta función, se realizará de forma rápida y, lo que es aún más importante, sin causar desperfectos en las piezas adyacentes.
- ✓ Es un sistema que permite restaurar la protección anticorrosiva antes de ejecutar la soldadura, mediante la aplicación de imprimaciones soldantes apropiadas.

### **Fundamento físico de la soldadura por forjado**

La soldadura por puntos de resistencia se basa en el procedimiento más antiguo que se conoce: la soldadura por forja.

Se lleva a cabo aprovechando la propiedad de unión que presentan algunos metales al final de su fase sólida, cuando se aplica sobre ellos una presión. Para ejecutarla, se eleva el material a temperaturas próximas a la de fusión mediante un calentamiento, y se unen las dos piezas mediante presión. Se trata, por tanto, de una soldadura por presión y no por fusión.

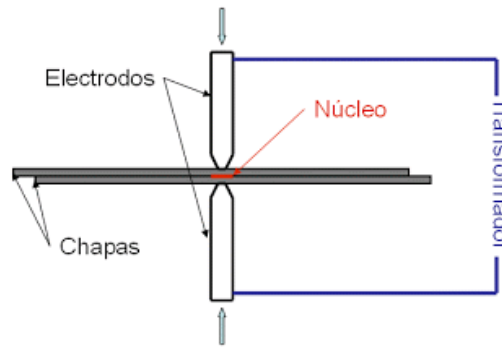


Figura 3.2. Fundamento físico de soldadura por forjado (Fuente: [14])

### Parámetros de la soldadura por forjado

#### ➤ Intensidad de la corriente - Tiempo de soldadura:

La cantidad de calor necesario para elevar las chapas a estado pastoso depende directamente de la intensidad de la corriente eléctrica y del tiempo de circulación de esta. Debido a esto, para generar una determinada cantidad de calor, han de regularse adecuadamente estas dos variables.

Por una parte, se puede disminuir el tiempo de soldadura aumentando la intensidad, lo que se conoce como soldadura rápida, o bien se puede optar por una disminución de la intensidad acompañada de un aumento del tiempo de soldadura, denominada soldadura lenta.

Estas variaciones oscilan dentro de unos márgenes determinados, pues en la práctica no es posible disponer de tiempos ni de intensidades tan amplias como se desee.

- La intensidad máxima que se quiere alcanzar está condicionada por el equipo concreto con el que se ejecute la soldadura y por las piezas que se van a unir, ya que hay que evitar su fusión.
- El tiempo de soldadura no debe ser muy prolongado, ya que parte del calor se perdería por conducción y se puede llegar a establecer un equilibrio térmico entre calor aportado y calor disipado. Si este fenómeno sucede, impediría alcanzar una temperatura suficiente y daría lugar a uniones de escasa o nula resistencia mecánica, provocando desprendimientos.

Para lograr un buen punto de soldadura se debe:

- Seleccionar la intensidad máxima del equipo, sin que se llegue a producir la fusión de las chapas.
- Regular el tiempo de paso de la corriente en función del espesor que se pretende soldar.

➤ **Resistencia eléctrica de la unión:**

La resistencia que oponen las chapas a unir al paso de la corriente no es un parámetro de soldadura que pueda ser regulado en el equipo, sino que depende de la naturaleza del metal utilizado.

Es un factor que se debe tener en cuenta, ya que la resistencia influye directamente en la cantidad de calor generada durante la soldadura. La resistencia que opone un material al paso de la de la corriente es inversamente proporcional a su conductividad eléctrica, dependiendo fundamentalmente de su composición y de su tratamiento, así como de su acabado y limpieza.

Por tanto, a mayor conductividad eléctrica, menor resistencia al paso de la corriente, hecho que dificulta la realización de este tipo de soldaduras. Este inconveniente se puede subsanar con un aumento de la intensidad de la corriente.

➤ **Presión de apriete:**

La soldadura por puntos de resistencia es una soldadura por forja. Supone la existencia de una conformación en caliente, que se obtiene mediante la presión aplicada a través de los electrodos.

A este parámetro no se le suele dar la importancia que merece. Influye tanto en la resistencia como en el efecto de forja durante la solidificación del núcleo de metal fundido.

La aplicación de la presión tiene tres misiones distintas, que pueden parecer incluso contradictorias:

1. En el momento de comenzar la soldadura, la presión ha de ser baja para obtener una resistencia de contacto chapa-chapa elevada, que permita un calentamiento inicial con intensidad moderada.
2. A su vez, esta presión ha de ser suficiente para que las chapas a unir tengan un contacto adecuado y se acoplen entre sí perfectamente.
3. Una vez que se ha iniciado la fusión del punto, la resistencia de contacto queda reducida a la zona delimitada por los electrodos. En ese momento, la presión debe ser alta para expulsar los gases incluidos y llevar a cabo la forja del punto.

La presión recomendada para la chapa de acero se halla alrededor de los 10 kg/mm<sup>2</sup> y debe encontrarse entre ciertos valores límite para evitar los fallos que puedan originarse por exceso o por defecto.

*Presiones excesivamente bajas producen:*

1. Forja deficiente, que implica puntos de baja calidad.
2. Altas resistencias de contacto chapa-chapa y chapa-electrodo, que pueden dar lugar a proyecciones, salpicaduras, perforación de las chapas y cráteres y pegaduras en los electrodos, que ocasionan su degradación.
3. Buena forja, pero, si la presión es excesiva, puede provocar la expulsión de metal fundido del núcleo del punto y disminuir su resistencia.
4. Baja resistencia de contacto chapa-chapa y chapa-electrodo.
5. Huellas profundas en las chapas.
6. Partículas de cobre desprendidas de los electrodos, las cuales se adhieren a la chapa en las zonas del punto.
7. Deformaciones de los electrodos.

### **Elementos que componen un equipo de soldadura por forja**

Independientemente de la estructura, tamaño y tipo del equipo, todas las máquinas están diseñadas de modo que puedan suministrar a la pieza los parámetros indicados anteriormente; por ello están dotadas de los siguientes elementos básicos:

1. Un sistema de puesta bajo presión de las piezas que hay que unir, que proporcionará a los electrodos una fuerza fácilmente regulable. Puede ser de accionamiento mecánico, hidráulico o neumático. Es el responsable del apriete de las piezas, modificando en cierta medida la resistencia de contacto y, sobre todo, de llevar a cabo la forja de la soldadura, al ser capaz de mantener el esfuerzo sobre las piezas, incluso después del corte de la corriente.
2. Un transformador eléctrico, cuya misión es transformar la tensión e intensidad de la corriente alterna de la red. De este modo, se consigue en la pinza una intensidad de varios miles de amperios.
3. Un sistema de corte y temporización capaz de suministrar la energía deseada en el espacio de tiempo preciso.

El cabezal o pinza de soldadura está conectado a la unidad de alimentación mediante cables flexibles de una longitud determinada. El operario soporta este elemento durante la ejecución del trabajo. Su

accionamiento suele efectuarse mediante un cilindro neumático que lleva incorporado, y que es puesto en funcionamiento por la electroválvula mandada por el pulsador eléctrico. Este tipo de accionamientos se emplea cuando los esfuerzos requeridos no son muy importantes.

En el manejo general de estos equipos, conviene tener en cuenta algunas consideraciones:

1. Se necesita una tensión de red estable para un correcto funcionamiento.
2. La presión del aire de alimentación para la pinza se halla alrededor de 6 bares.
3. Si se emplean alargadores de alimentación, han de tener la sección suficiente.
4. No se deben forzar las conexiones.
5. Es preciso soplar con aire seco el interior de la máquina para eliminar los depósitos de polvo.
6. Hay que tener la precaución de no tirar de los cables de conexión o soldadura para mover el equipo.

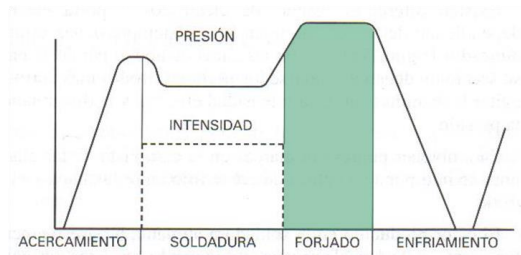
Asimismo, en la línea de soldadura también se dispone de un sistema que permite detectar soldaduras incorrectas en cada cabezal por caída de tensión mediante unos parámetros establecidos. Este sistema permite detectar una soldadura incorrecta si el paso de corriente no es el apropiado de acuerdo con los parámetros fijados. En paralelo, existe un puesto donde se verifican visualmente todas las soldaduras por ambos lados, mediante una cámara con zoom y aumento de contraste.

Análogamente también se dispone de un *Miyachi* que permite controlar si el proceso de soldadura es estable y se encuentra comprendido entre los límites de control (ver figura 3.3.).



**Figura 3.3.** Equipo Miyachi controlador en tiempo real del proceso (Fuente: propia)

### Fases de la soldadura por forja



**Figura 3.4.** Fases de la soldadura por forja (Fuente: [14])

El procedimiento de soldadura utilizado es el siguiente:

1. Colocación de la pinza sobre las chapas.
2. Tiempo de bajada: es el tiempo que transcurre desde que se inicia la operación de acercamiento de los electrodos hasta que comienza el paso de corriente. En este tiempo se consiguen aproximar las chapas que se van a unir para obtener una buena continuidad.
3. Tiempo de soldadura: tiempo durante el cual está pasando la corriente eléctrica.
4. Tiempo de mantenimiento o de forja: es el tiempo transcurrido entre el corte de la corriente y el levantamiento de los electrodos. Esta fase posterior de enfriamiento con mantenimiento de la presión garantiza el grado de resistencia y debe ser, como mínimo, igual al tiempo de soldadura.
5. Separación de los electrodos.
6. Colocación de las chapas o de la pinza para un nuevo punto.

### Consideraciones acerca de los electrodos y los porta electrodos

Los electrodos tienen gran importancia en los procesos de soldadura por puntos de resistencia; deben reunir tres requisitos fundamentales:

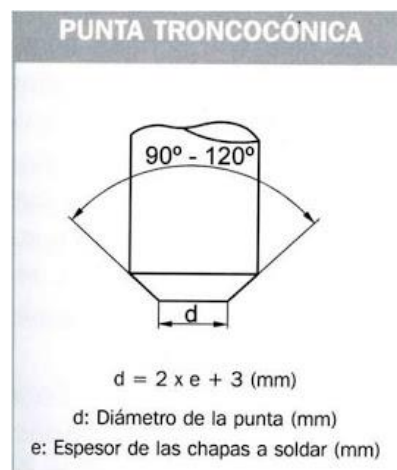
1. Buena conductividad eléctrica para evitar aumentos adicionales de temperatura.
2. Tenacidad y alta resistencia mecánica a elevadas temperaturas.
3. Buena conductividad térmica para que su refrigeración sea rápida y efectiva.

Los electrodos, para la soldadura de los aceros, están fabricados en aleaciones de cobre-cromo; el cobre presenta unas propiedades eléctricas y térmicas óptimas y la adición de cromo endurece la aleación, mejorando las propiedades mecánicas.

Generalmente, se emplean electrodos trocónicos con un ángulo en la punta comprendido entre 90º y 120º, pero también existen electrodos de punta redonda. El diámetro de su punta o zona de contacto está determinado por el espesor de las chapas y puede calcularse aproximadamente por la siguiente fórmula empírica, únicamente válida para materiales ferrosos:

$$d = 2e + 3 \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde "d" es el diámetro de la punta del electrodo y "e" el grosor de las chapas a soldar.



**Figura 3.5.** Punta Troncocónica (Fuente: [14])

Estas puntas deben mantenerse en buenas condiciones para obtener puntos de calidad; por ello, es recomendable afilarlas periódicamente para que conserven su geometría y así eliminar partículas y suciedad adheridas.

Destacar que todos los electrodos que utilizamos en el proceso de soldadura son de tungsteno, lo cual aporta una mayor durabilidad y fusionados de mejor calidad. Además, presentan unos radios laterales que tienen como principal misión evitar posibles cortes en los cables (ver figura 3.6.).





**Figura 3.6.** Electrodo de tungsteno con radios laterales (Fuente: propia)

### Otros aspectos importantes en la ejecución de la soldadura por forja

Además de las particularidades indicadas, existen otros aspectos que también hay que tener en cuenta a la hora de unir piezas por puntos de resistencia.

#### ➤ Distancia entre puntos o paso.

La práctica demuestra que no es cierto que aumente la solidez del conjunto al multiplicar el número de puntos y reducir el paso entre ellos, pero si un punto se ejecuta muy próximo a otros, puede producirse una derivación de corriente por las soldaduras cercanas (efecto *Shunt*); de esta forma, disminuye la intensidad de corriente necesaria para la formación del nuevo punto. No tener en cuenta este factor, implica un consumo excesivo de energía eléctrica, ya que, además de la corriente útil de soldadura, se está proporcionando a las piezas una corriente adicional, que se pierde a través de los puntos próximos.

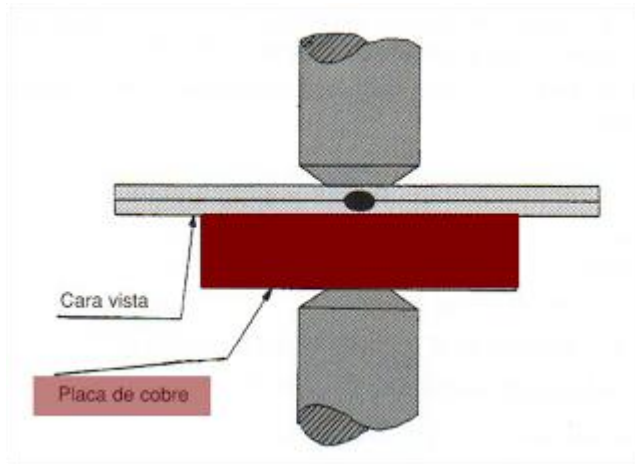
#### ➤ Distancia al borde o recubrimiento.

La distancia al borde o "recubrimiento" es la longitud medida desde el centro de la soldadura al borde de la pieza. Un recubrimiento insuficiente puede dar lugar a:

- Expulsión de material fundido por la junta, debilitando la soldadura.
- Deformaciones en los bordes de las piezas, debido a la presión ejercida por los electrodos.
- Deterioro de los electrodos, que se ensucian con gran facilidad.

➤ **Obtención de puntos sin marcar la cara vista.**

Al ejecutar un punto de soldadura, quedará visible sobre la pieza una pequeña marca o "lenteja", debido a la presión de los electrodos. Sin embargo, existen zonas donde esta marca no puede estar visible, como por ejemplo el panel de una puerta soldado a su armazón. En tal caso, para evitar la marca por la cara vista, se interpone entre ésta y el electrodo correspondiente una placa de cobre. Puede servir una placa empleada como masa en muchas máquinas de soldadura.



**Figura 3.7.** Ejemplo de punto de soldadura (Fuente: [14])

➤ **Control de calidad.**

Un especialista puede reconocer la calidad del punto de soldadura por su color, que debería estar entre azul oscuro y azul violeta, con el centro blanco.

La mejor forma de evaluar la calidad de un punto es proceder a su rotura. Si se produce un arrancamiento del material base, el punto está bien realizado; si se desprende reventado, no se ha efectuado adecuadamente el trabajo. Para ello, bastará con soldar unas probetas de chapa, de igual espesor y características que las de la chapa que hay que soldar, y proceder después a su rotura. Esta prueba es muy útil para una primera regulación del equipo cuando aún no se está familiarizado con él.



**Figura 3.8.** Ejemplos de diferentes resultados de soldadura (Fuente: [14])

### **Defectos generales de la soldadura**

➤ Intensidad demasiado alta:

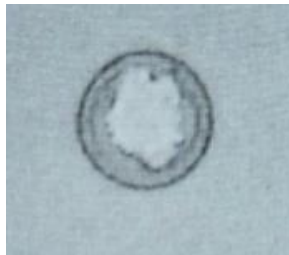
- Penetración demasiado profunda.
- Producción de salpicaduras.



**Figura 3.9.** Ejemplo de soldadura con intensidad demasiado alta (Fuente: [14])

➤ Intensidad demasiado baja:

- Baja resistencia de la unión.
- Pegaduras.



**Figura 3.10.** Ejemplo de soldadura con intensidad demasiado baja (Fuente: [14])

➤ Presión de apriete demasiado alta:

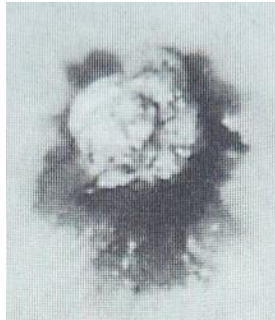
- Marcas profundas en la chapa.
- Salpicaduras por expulsión del núcleo entre las chapas.



**Figura 3.11.** Ejemplo de soldadura con presión de ariete demasiado alta (Fuente: [14])

➤ Presión de apriete demasiado baja:

- Salpicaduras.
- Agujeros.
- Deterioro de los electrodos por inclusiones del material.



**Figura 3.12.** Ejemplo de soldadura con presión de ariete demasiado baja (Fuente: [14])

➤ Tiempo demasiado largo:

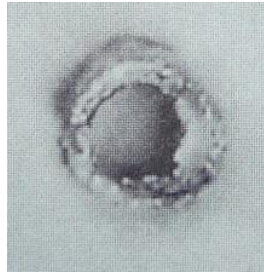
- Calentamiento excesivo de la chapa.
- Disminución de la calidad del punto.



**Figura 3.13.** Ejemplo de soldadura de tiempo excesivo (Fuente: [14])

➤ Tiempo demasiado corto:

- Penetración demasiado pequeña.
- Pegaduras.



**Figura 3.14.** Ejemplo de soldadura de tiempo demasiado escaso (Fuente: [14])

Bajo estas directrices, se ha llevado a cabo el proceso de soldadura del llamado “by-pass”. Pese a que son muchos los parámetros y las variables que tienen influencia en el resultado final de una buena soldadura, varios han sido establecidos y fijados como constantes:

- ✓ **Intensidad de la corriente:** es un parámetro clave. A medida que se avanza en el proceso, se parametriza con más precisión mejorando la calidad de la soldadura.
- ✓ **Tiempo de soldadura:** es un parámetro más limitante debido al espesor del material a soldar. Además, si se excede, se tiene un alto riesgo de desprendimiento del terminal, hecho que se debe evitar a toda costa.
- ✓ **Resistencia eléctrica de la unión:** es una variable constante establecida por el fabricante e intrínseca al material a fusionar.
- ✓ **Presión ariete:** en otros tipos de proceso de soldadura se conocería por el nombre de “control de penetración”. Fue establecido con un valor constante por el departamento de Fiabilidad al inicio del proceso de soldadura.

Cabe destacar la enorme dificultad de mantener un equilibrio óptimo entre dichos parámetros. Además, como se verá más adelante, a medida que se avanza en el control del proceso surgen nuevas variables que no se estaban teniendo en cuenta y que tienen cierto impacto en el resultado final. Las soldaduras son procesos de mucha variabilidad en general.

Mediante estudios estadísticos y experimentos de prueba-error (aunque siempre condicionados por la exigencia de la producción “Just-in-Time”) se consigue estabilizar medianamente el proceso (ver cronología del proceso más adelante). Los parámetros óptimos para cuando los electrodos han asumido el régimen de trabajo se encuentran recopilados en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Parámetros óptimos para los cambios de electrodo (Fuente: propia)

<b>PARÁMETROS ÓPTIMOS - CAMBIOS DE ELECTRODO</b>		
<b>Terminal</b>	<b>Intensidad (mA)</b>	<b>Tiempo (ms)</b>
<b>1º</b>	<b>1800</b>	<b>20</b>
<b>2º</b>	<b>1200</b>	<b>25</b>
<b>4º</b>	<b>1200</b>	<b>25</b>
<b>5º</b>	<b>1200</b>	<b>25</b>
<b>7º</b>	<b>1600</b>	<b>20</b>

Sin embargo, se observa que a partir de cierto número de ciclos (número de terminales soldados) los electrodos empiezan a sufrir un desgaste. Cuando los electrodos están demasiado desgastados, las soldaduras sufren deformaciones y pierden calidad. Es por eso que, cada cierto nº de ciclos, deben cambiarse.

Estos cambios de electrodo marcan el momento más frágil y de mayor riesgo de todo el proceso. En primer lugar, porque para cualquier estudio estadístico que se quiera hacer, cambian las condiciones de la soldadura. Sería el equivalente a realizar el mismo experimento, pero en laboratorios distintos. Pese a que se intenten mantener las mismas condiciones, el resultado nunca será idéntico. En este estudio, la recolecta de datos ha sido dividida en etapas. Cada inicio de etapa lo marca cada cambio de electrodos.

En segundo lugar, porque los electrodos necesitan cierto número de ciclos para asumir un régimen de trabajo y que todas las soldaduras sean lo más homogéneas posibles.

Es por ello que, durante los cambios de electrodos, se decide aplicar una técnica llamada “Steeper”, asumiendo el riesgo de sufrir soldaduras demasiado pronunciadas.

El *steeper* es un sistema que permite aumentar los parámetros estándar de trabajo (intensidad), cuando los electrodos no tienen el régimen de trabajo óptimo (electrodos nuevos). Se realiza según la tabla 3.2. que puede verse a continuación. Esto permite obtener resultados de soldadura correctos a nivel de esfuerzos de tracción desde la primera pieza que se suelda.

**Tabla 3.2.** Steeper para los cambios de electrodo (Fuente: propia)

Steeper	
1ª FASE	20 PIEZAS => 140 % Intensidad
2ª FASE	30 PIEZAS => 120 % Intensidad
3ª FASE	40 PIEZAS => 110 % Intensidad

Después de soldar estas 90 piezas, el sistema se desactiva automáticamente y se trabaja con los parámetros estándar de trabajo que se han visto más arriba.

### 3.2. Línea de soldadura del “by-pass”

En la línea de soldadura, se tienen tres PECOS que proporcionan la intensidad suficiente a tres pares de electrodos, respectivamente. En la figura 3.15. se muestra cada par de electrodos (superior e inferior).

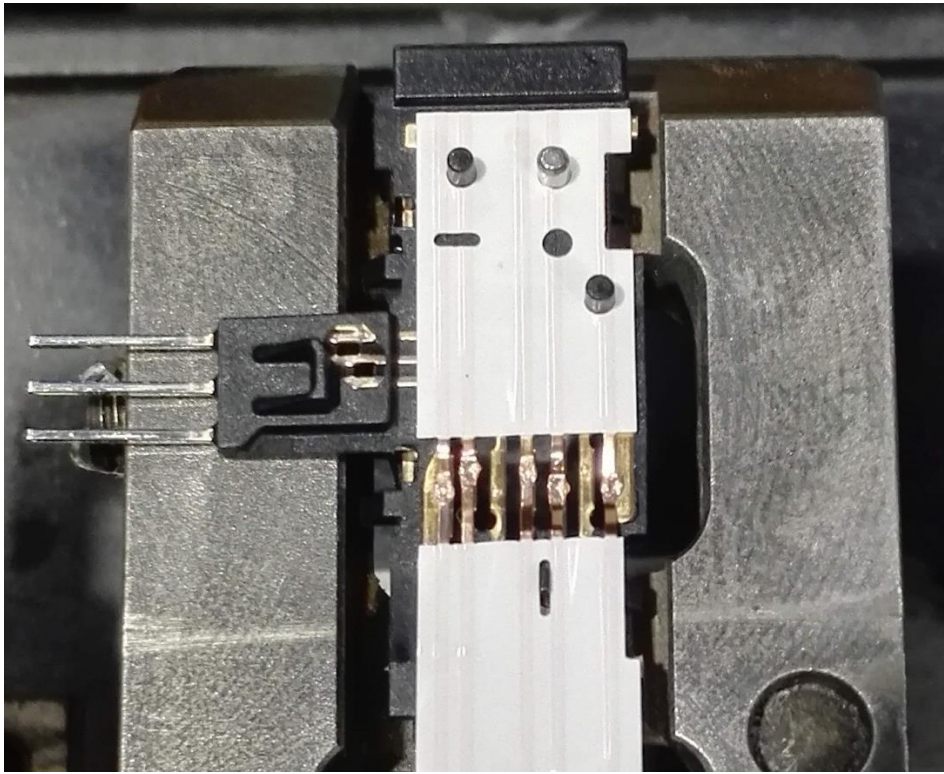


**Figura 3.15.** Electrodo superior e inferior de la línea by-pass (Fuente: propia)

Cada par de electrodos se encarga de realizar la soldadura de dos terminales. En total, el llamado “by-pass” tiene siete terminales. Generalmente, solo se sueldan cinco de ellos, a excepción de cuando se



fabrican productos que demanden “smart-airbag” o airbag del asiento del copiloto. En la figura 3.16., se puede observar un “by-pass” con cinco terminales soldados:



**Figura 3.16.** By-pass con los cinco terminales soldados (Fuente: propia)

Todos los diagramas de control utilizados en el presente trabajo han sido aplicados y enfatizados en el primer terminal del “by-pass”, al ser el más conflictivo de todos. Es el encargado de dar continuidad a la función de airbag y mandar un impulso eléctrico en caso de necesidad.

El “by-pass” es una pieza conectada en el interior del llamado COM por un cable o cordón umbilical que, a su vez, permite el giro del volante.

El COM es el conjunto mecatrónico insertado dentro del volante de ciertos vehículos. Alberga una PCB central con microcontrolador para realizar varias funciones: limpiaparabrisas, luces, claxon, apertura con llaves, intermitentes, etc.

El “by-pass” en sí tiene la función de dar continuidad eléctrica tanto al airbag como al claxon del vehículo. Por lo tanto, si uno de los terminales no tiene una soldadura correcta, las consecuencias pueden ser graves.

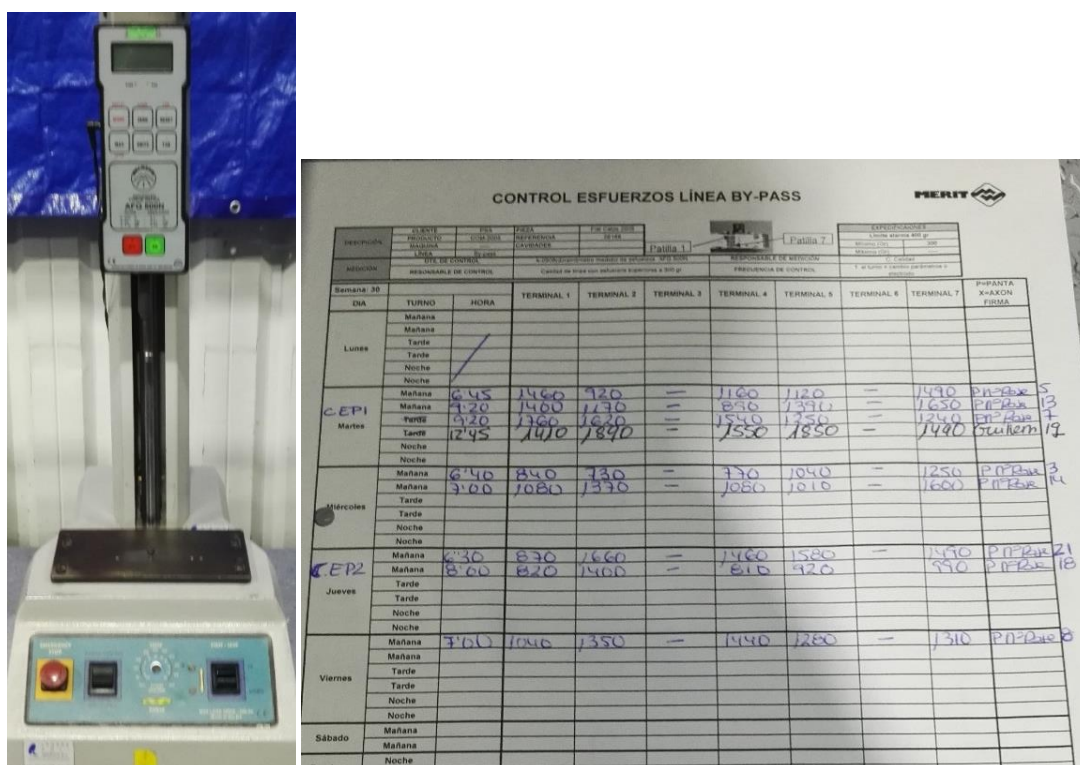


## Recopilación de datos y toma de muestras

Como ya se ha explicado con anterioridad, la mejor forma de evaluar la calidad de un punto es proceder a su rotura. Para ello, se han realizado ensayos de tracción para cada toma de muestra. Los resultados del ensayo de los terminales son apuntados en el check-list o registro diario para, posteriormente, ser tratados informáticamente. Para cada turno de trabajo, se realizan tantos como se estime convenientes dependiendo de la situación. El objetivo es claro: asegurar la calidad del proceso.

Es importante reseñar que después de cada cambio de electrodos, calidad línea realiza uno o varios ensayos de tracción (dependiendo del caso), para confirmar que los esfuerzos obtenidos después del cambio de electrodos son correctos con la especificación.

En las figuras 3.17. y 3.18. se puede observar tanto el dinamómetro utilizado para los ensayos de tracción como una hoja del registro de esfuerzos diarios.



**Figuras 3.17. y 3.18.** Dinamómetro utilizado para los esfuerzos de tracción y registro de los mismos, respectivamente (Fuente: propia)

## Resultados de los ensayos de tracción

La aparición de valores de esfuerzos de tracción bajos, así como desprendimientos e incidencias en general, suele producirse en los cambios de electrodo, ya que el nuevo electrodo aún se encuentra frío

y no ha asumido el régimen de trabajo óptimo. Se aplica el *Steeper* en cada cambio para intentar acortar al máximo el tiempo que tarda el electrodo en soldar con normalidad.

Cabe destacar la distinción entre los posibles tres resultados de los ensayos de tracción:

- **Terminal bien fusionado:** es el resultado correcto y esperable. Si se produce un arrancamiento del material base al realizar el ensayo, significa que el punto soldado está bien realizado. En otras palabras, sucede cuando el terminal sufre una rotura y el punto de fusión queda completamente cubierto por el cable unión.



Figura 3.19. Ejemplo de primer terminal bien fusionado (Fuente: propia)

- **Terminal mal fusionado:** es “el mejor de los males”. Cuando esto sucede, al realizar el ensayo de tracción, el terminal sufre ruptura. Sin embargo, parte del punto de fusión queda visible. Este resultado es signo de soldadura defectuosa.

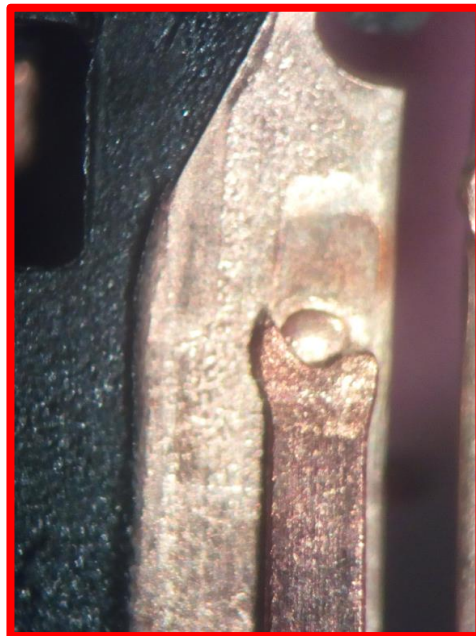


Figura 3.20. Ejemplo de primer terminal mal fusionado (Fuente: propia)

- **Desprendimiento terminal:** sucede cuando al realizar el esfuerzo de tracción, el terminal se desprende totalmente. Significa que la soldadura es muy débil. Los “by-pass” fabricados con

terminales que tienden a desprenderse, tienen un alto riesgo de perder el contacto eléctrico. Cuando esto sucede, el COM afectado montado al vehículo provocará que se encienda en permanente el testigo de AIRBAG.

*Nota: el desprendimiento de terminales se debe evitar a toda costa. Supone un alto riesgo de enviar un producto defectuoso a cliente (producto que tiene impacto en la seguridad vial). Si el terminal se acaba desprendiendo, se pierde la continuidad eléctrica del airbag y el COM es defectuoso. El cliente abre un incidente y para la empresa supone una multa considerable tanto a nivel monetario cómo de imagen, ya que demuestras que uno de tus procesos industriales no está controlado.*



**Figura 3.21.** Ejemplo de primer terminal desprendido (Fuente: propia)

### 3.3. Cronología del proceso

El proceso podría ser dividido cronológicamente en tres grandes etapas:

- **Mayo 2017 a noviembre 2017:** PROCESO DESCONTROLADO. Se utilizan los parámetros recomendados por los fabricantes de cable. LCI establecido en 300g.
- **Noviembre 2017 a febrero 2018:** PROCESO SIN CONTROL ESTADÍSTICO. Inicio de seguimiento de la soldadura by-pass. Se hace un registro con un muestreo aleatorio más exhaustivo que en los meses anteriores.
- **Marzo 2018 a junio 2018:** PROCESO CON CONTROL ESTADÍSTICO. Mediante el uso de herramientas estadísticas (gráficos de control, gráfica de intervalos, etc.) se descubre alguna anomalía en el control del proceso. Por consiguiente, hay alguna variable que influye en la ecuación de soldadura que no estamos teniendo en cuenta. La última muestra por debajo del LCI=600 es el 08/03/2018. Durante este período se establecen varios procedimientos para el cambio de electrodos y se intentan controlar las siguientes variables:

- *Optimización parámetros (tanto en Régimen nominal como en los cambios de electrodo)*
- *Steeper*
- *Ajuste de los LCI y LCS*
- *Galgado de los electrodos*
- *Aportación de resina dieléctrica*
- *Estado del cable (es recibido al granel de proveedor con terminales descentrados)*
- *Minimización de los errores humanos*

### **¿Por qué se inicia el seguimiento a finales de noviembre del 2017?**

El departamento de Calidad Cliente decide establecer un equipo de trabajo para iniciar un seguimiento interno de las soldaduras del by-pass. El motivo de dicho seguimiento es el siguiente: los clientes del producto COM2005 (mayoritariamente PSA) abren, en un lapso de tiempo de un año (29/11/2016 a 8/11/2017), un total de 14 incidentes asociados con malas soldaduras de by-pass. Los incidentes se encuentran resumidos en la tabla 3.3.

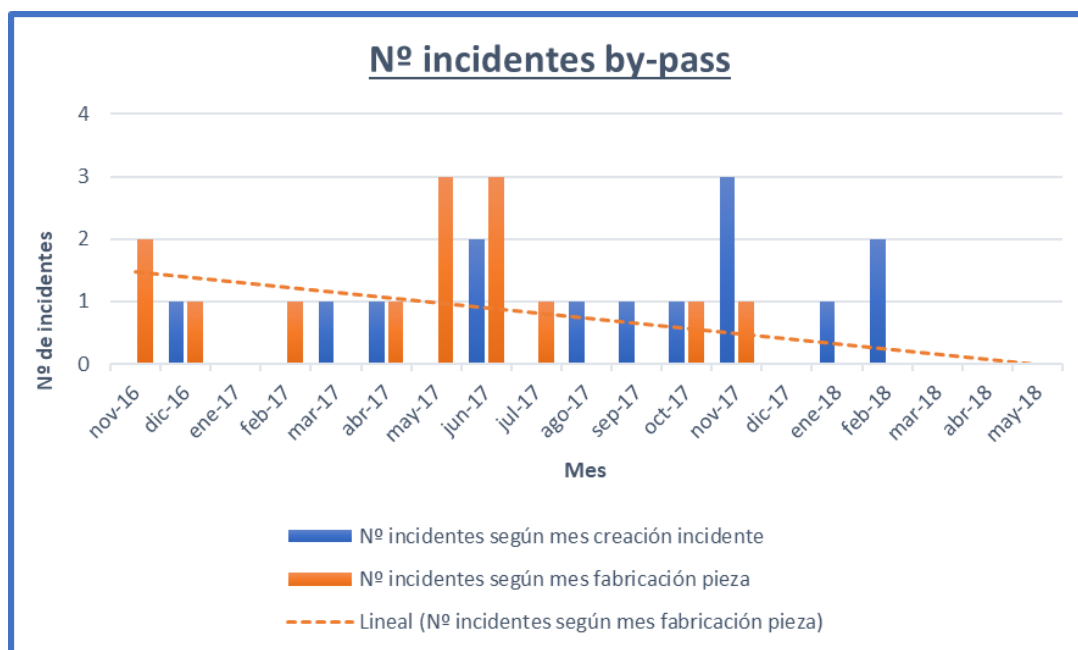
**Tabla 3.3.** Todos los incidentes asociados a una mala soldadura de by-pass (Fuente: propia)

	<u>Nº incidente</u>	<u>Fecha fabricación pieza</u>	<u>Fecha creación incidente</u>	<u>Análisis</u>	<u>Responsabilidad</u>
1	QEC FV6 2017 752	29/11/2016	29/03/2017	Cuarto terminal seccionado.	Merit
2	QAN FV6 2017 2435	29/11/2016	12/12/2016	Primer terminal seccionado	Merit
3	FST-2722	05/12/2016	07/06/2017	Primer terminal sin fusionar	Merit
4	QEC FV6 2017 1577 / IR43	20/02/2017	19/06/2017	Primer terminal seccionado	Merit
5	QAN FVZ 2017 848	05/04/2017	18/04/2017	Segundo terminal seccionado	Merit
6	QEC FL2 2017 667 1ª pieza	09/05/2017	07/11/2017	Primer terminal sin fusionar	Merit
7	QEC FL2 2017 667 2ª pieza	09/05/2017	07/11/2017	Primer terminal sin fusionar	Merit
8	FST-2724	09/05/2017	23/11/2017	Primer terminal sin fusionar	Merit
9	QAN FV6 2017 2725	06/06/2017	20/09/2017	Primer terminal sin fusionar	Merit
10	FST-2726	06/06/2017	07/02/2018	Primer terminal sin fusionar	Merit
11	FST-2725	13/06/2017	06/02/2018	Primer terminal sin fusionar	Merit
12	QAN FV6 2017 2082	25/07/2017	28/08/2017	Primer terminal sin fusionar	Merit
13	QAN FV6 2017 2772	18/10/2017	30/10/2017	Primer terminal sin fusionar	Merit
14	QAN FV8 2018 22 (BRASIL - VIGO)	08/11/2017	23/01/2018	Primer terminal sin fusionar	Merit

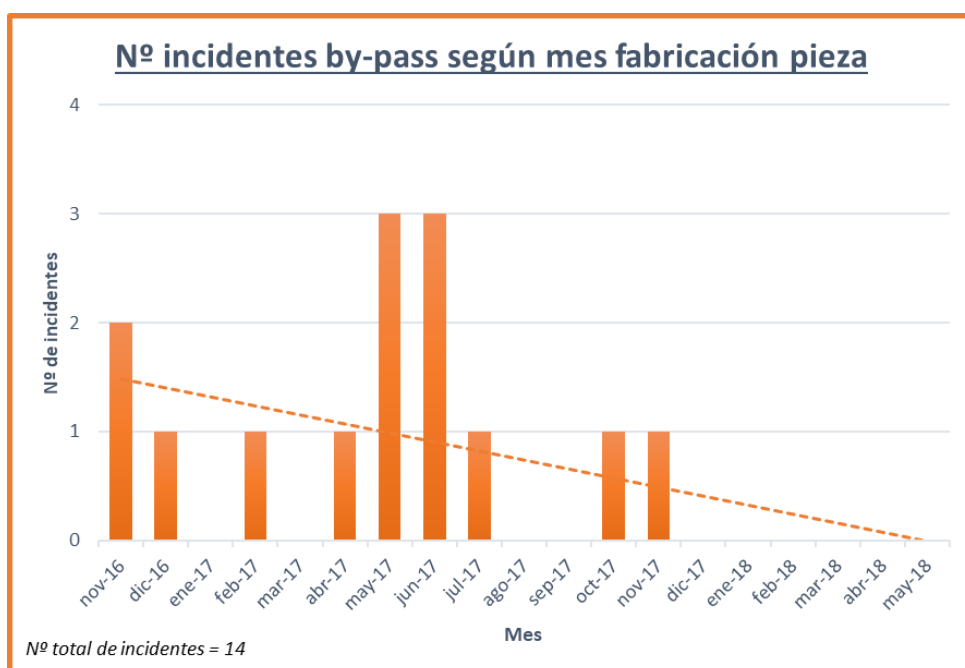
La causa-raíz de la gran mayoría de incidentes es un primer terminal sin fusionar, seccionado o directamente desprendido. Esto provoca un circuito abierto en el conector del airbag y, por consiguiente, una incorrecta funcionalidad eléctrica. Cuando cliente monta el producto afectado en su coche, el testigo del airbag se enciende permanentemente.

Cada nuevo incidente abierto por cliente supone tanto una multa de alto valor monetario como de desprestigio para la imagen de la empresa. A su vez, también evidencia que uno de los procesos de soldadura está descontrolado (*en el apartado de presupuesto se muestra una aproximación del coste de los incidentes asociados a una mala soldadura de by-pass*).

En las figuras 3.22 y 3.23 se recogen cronológicamente todos los incidentes relacionados con soldaduras incorrectas de by-pass, ordenados tanto por el mes de fabricación como por el mes de creación del incidente.



**Figura 3.22.** Número de incidentes según el mes de creación del mismo y la fabricación de la pieza (Fuente: propia)



**Figura 3.23.** Número de incidentes según el mes de fabricación de la pieza (Fuente: propia)

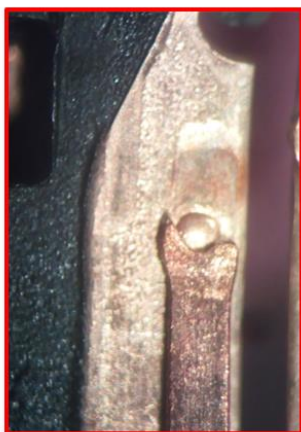
### Interpretación de los resultados clave:

- Desde que se implementa el seguimiento (noviembre 2017), no se ha fabricado ningún by-pass que resulte ser defectuoso.

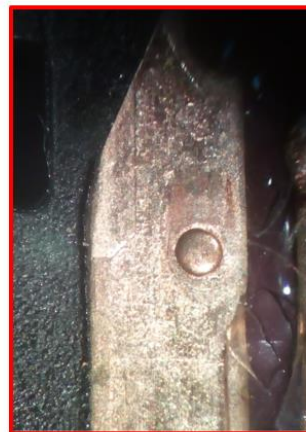
- Durante los meses de mayo y junio de 2017 hay un pico de incidentes. Por lo tanto, son los meses que se fabricó peor y el proceso estaba más descontrolado.
- La línea de tendencia muestra que se han ido reduciendo los incidentes paulatinamente.
- El primer mes registrado que surgió un problema con las soldaduras fue en noviembre de 2016.

A continuación, en las figuras 3.24., 3.25. y 3.26., se muestran evidencias de primeros terminales sin fusionar, asociados a varios incidentes. Cabe resaltar la gran importancia de mantener un registro de los resultados de los procesos. Así, se puede averiguar qué parámetros de soldadura se estaban usando para las soldaduras que resultaron ser incorrectas, así como las posibles incidencias extraordinarias de ese turno:

### Terminales sin fusionar



Nº incidente:	FST-2724
Fecha producción:	09/05/2017
Parámetros proceso:	1100/25

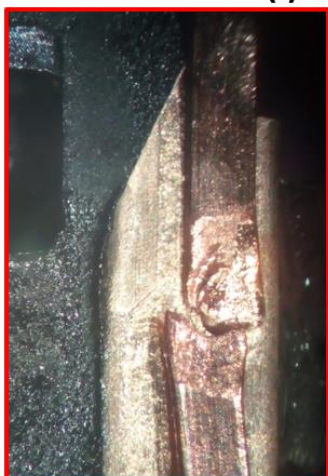


Nº incidente:	QEC FL2 2017 667 (2ª PIEZA)
Fecha producción:	09/05/2017
Parámetros proceso:	1100/25

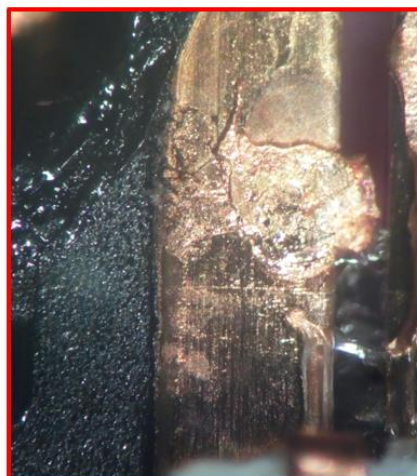
**Figura 3.24.** Ejemplos de incidentes relacionados con terminales sin fusionar (Fuente: propia)



### Terminales seccionados (I)



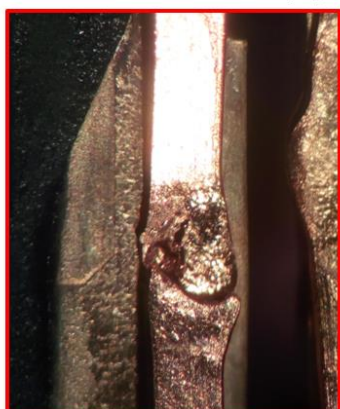
Nº incidente:	QEC FL2 2017 667 (2ª PIEZA)
Fecha producción:	09/05/2017
Parámetros proceso:	1100/25



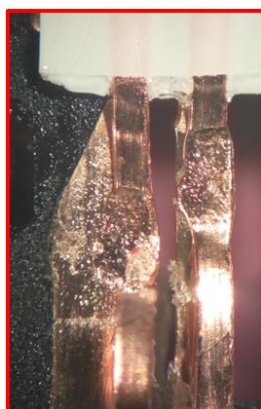
Nº incidente:	QAN FV6 2017 2772
Fecha producción:	18/10/2017
Parámetros proceso:	1600/17

Figura 3.25. Ejemplos de incidentes relacionados con terminales seccionados (I) (Fuente: propia)

### Terminales seccionados (II)



Nº incidente:	QAN FV6 2017 2725
Fecha producción:	06/06/2017
Parámetros proceso:	1700/15



Nº incidente:	QAN FV8 2018 22 (Brasil-Vigo)
Fecha producción:	08/11/2017
Parámetros proceso:	1600/17

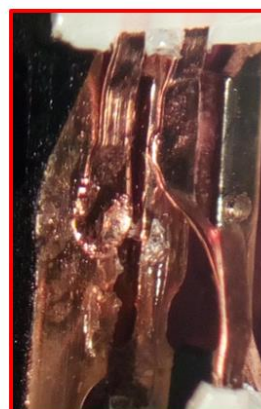


Figura 3.26. Ejemplos de incidentes relacionados con terminales seccionados (II) (Fuente: propia)

## 3.4. Objetivo del seguimiento interno:

El objetivo fundamental del control estadístico realizado es reducir a cero las incidencias relacionadas con malas soldaduras en la línea del by-pass, o al menos reducir al máximo la variabilidad controlable del proceso.

Asimismo, también detectar rápidamente la ocurrencia de variabilidad inusual debida a variables desconocidas, así como investigar las causas de fenómenos extraordinarios para tratar de eliminarlas.



Por último, “arrojar luz” a un proceso con claro-oscuros y descifrar información implícita en los datos recolectados. Para, posteriormente, informar y tomar decisiones oportunas, pues de lo contrario se producirán gran cantidad de unidades de calidad no aceptable, originando una disminución de la capacidad productiva e incrementando los costes del producto terminado.

En general, la soldadura es una técnica con mucha variabilidad. De ahí que los procesos industriales de soldadura, como el que nos ocupa, son procedimientos con una alta variabilidad inherente.

Como se detallará en capítulos posteriores, el control estadístico del proceso también nos ha servido para descubrir nuevas variables que influyen en el resultado final de la soldadura y, que, en un principio, se desconocían o no se estaban teniendo en cuenta.

Dichas variables son las siguientes: el uso de steeper, el ajuste de los parámetros óptimos tanto en régimen de trabajo nominal como durante los cambios de electrodo (momentos críticos), el número de ciclos de desgaste del electrodo, el galgado de los mismos, la aportación de resina dieléctrica, el centrado de los cables, así como los posibles errores humanos.

### 3.5. Construcción de los diagramas de control

Para el análisis gráfico de los datos de soldadura, necesitamos graficar variables en el tiempo, concretamente los sucesivos esfuerzos de ruptura de las muestras. Para ello, debemos conocer la naturaleza de los datos recolectados y cómo deseamos tratarlos.

Para mejorar la calidad general del proceso, es preciso eliminar la variación entre subgrupos y reducir al máximo la variabilidad dentro de cada subgrupo. Como los gráficos de control utilizados han sido los individuales por etapas (el inicio de las cuales es marcado por el cambio de electrodos), es altamente recomendable que cada subgrupo o etapa tenga tanto LCI/LCS similares, así como una media parecida al resto. Si se consigue dicho propósito, los resultados son más homogéneos ya que se ha reducido la variación entre subgrupos en gran medida. Todo el contenido teórico sobre la construcción de diagramas de control ha sido extraído de la referencia (soporte de Minitab [12]).

#### ¿Qué tipo de dato vamos a graficar?

En nuestro caso, se tratan de datos continuos, puesto que medimos una característica cuantitativa del proceso. Otro tipo de dato muy utilizado es el de atributo, que cuenta la presencia de una característica cualitativa, como por ejemplo el número de elementos defectuosos de un mismo lote.

### ¿Nuestros datos han sido recolectados en subgrupos?

En nuestro caso, ha sido necesario realizar varios esfuerzos de ruptura durante un mismo turno, ya sea por la mañana o por la tarde, para así comprobar que cumplimos con los requisitos mínimos exigidos por la calidad en la producción.

Sin embargo, **sólo se ha recolectado una observación a la vez**, a excepción de los momentos más críticos del proceso (cambios de electrodo), cuando se debe prestar especial atención a los resultados de soldadura.

Por lo tanto, nuestros datos no han sido recolectados en subgrupos. **Son datos continuos y observaciones individuales.**

Asimismo, también se deben tener en cuenta varias consideraciones en cuanto a la Recolección de datos, así como en el Uso de la Gráfica I.

### **Recolección de datos**

- *Recolectar datos en un intervalo de tiempo adecuado*, que sea lo suficientemente corto para asegurarse de captar los cambios del proceso de manera oportuna.
- *Recolectar suficientes datos para obtener límites de control precisos y fiables*. Conforme más grande es el tamaño de muestra ( $n$  tiende al  $n^\circ$  total de soldaduras realizadas) aumentan las probabilidades de tener un estimado representativo de la variación del proceso.
- *Para detectar causas especiales de variación, los datos deben ser razonablemente normales*. Severos alejamientos de la normalidad pueden aumentar el número de falsas alarmas.

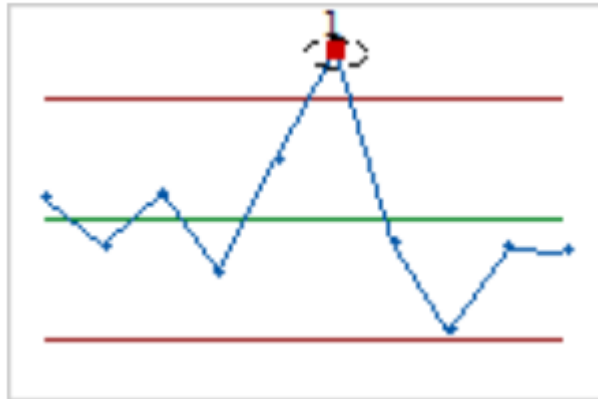
### **Uso de la Gráfica I**

- *La variación del proceso debe ser estable*. Los límites de control en la gráfica I se basan en la variación estimada del proceso. Si la variación del proceso no es estable, los límites de control en la gráfica I pudieran no ser válidos. Para averiguar si la variación del proceso es estable, se ha considerado oportuno usar la gráfica I-MR.
- *El software Minitab realiza pruebas automáticamente para detectar causas especiales*. Minitab utiliza varias pruebas para detectar un punto individual fuera de los límites de control. Además, también estudia la aleatoriedad del proceso, ya que permite investigar la causa de los puntos fuera de control. Si el proceso no es por naturaleza aleatorio, el proceso no pasará las pruebas para las causas especiales seleccionadas.

### ¿Qué pruebas para detectar causas especiales están incluidas en Minitab?

- **Prueba 1:** Un punto a más de  $3\sigma$  de la línea central (ver figura 3.27.)

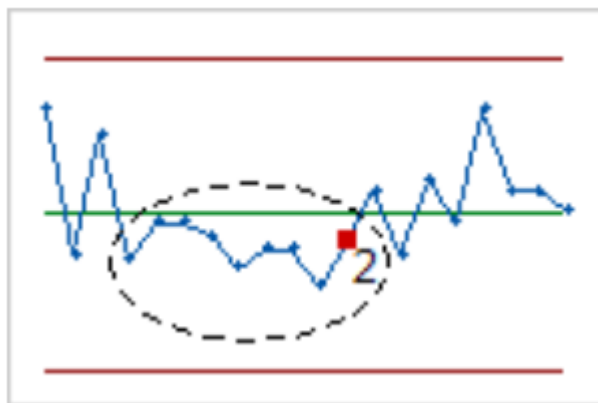
La Prueba 1 identifica subgrupos que son poco comunes en comparación con otros subgrupos. La prueba 1 se reconoce universalmente como una prueba necesaria para detectar situaciones fuera de control. Si pequeños cambios rápidos en el proceso son de interés, se puede utilizar la Prueba 2 para complementar la Prueba 1 a fin de crear una gráfica de control que tenga mayor sensibilidad.



**Figura 3.27.** Prueba 1 de Minitab para detectar causas especiales (Fuente: [12])

- **Prueba 2:** Nueve puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central (ver figura 3.28.)

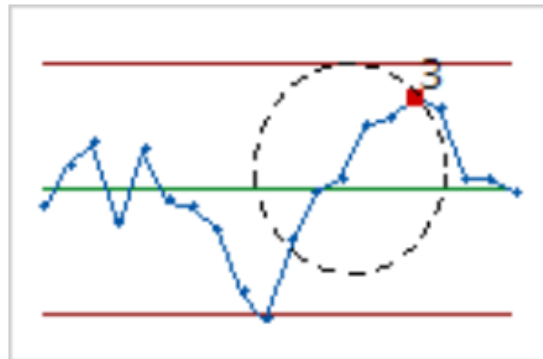
La prueba 2 identifica cambios rápidos en el centrado o variación del proceso. Si pequeños cambios rápidos en el proceso son de interés, se puede utilizar la Prueba 2 para complementar la Prueba 1 a fin de crear una gráfica de control que tenga mayor sensibilidad.



**Figura 3.28.** Prueba 2 de Minitab para detectar causas especiales (Fuente: [12])

- **Prueba 3:** Seis puntos consecutivos, todos en orden creciente o decreciente (ver figura 3.29.)

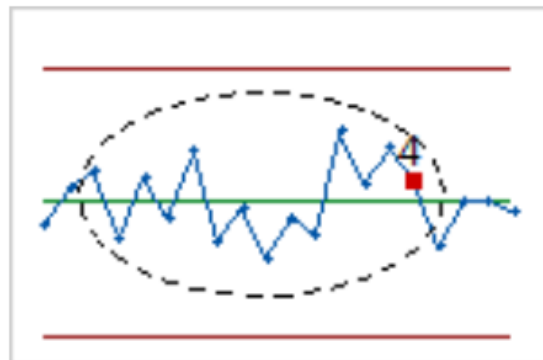
La Prueba 3 detecta tendencias. Esta prueba busca series largas de puntos consecutivos que de manera constante aumentan o disminuyen de valor.



**Figura 3.29.** Prueba 3 de Minitab para detectar causas especiales (Fuente: [12])

- **Prueba 4:** Catorce puntos consecutivos, alternativamente arriba y abajo (ver figura 3.30.)

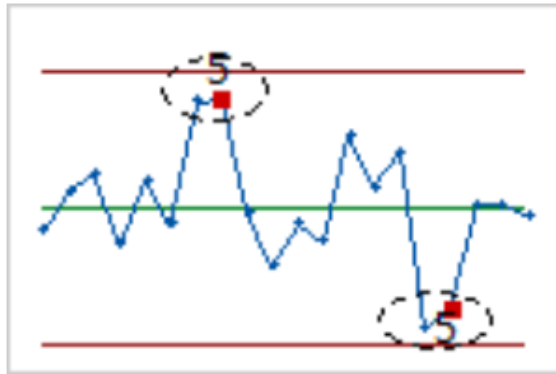
La Prueba 4 detecta variación sistemática. Se desea que el patrón de variación en un proceso sea aleatorio, pero un punto que no pasa la Prueba 4 podría indicar que el patrón de variación es predecible.



**Figura 3.30.** Prueba 4 de Minitab para detectar causas especiales (Fuente: [12])

- **Prueba 5:** Dos de tres puntos a más de  $2\sigma$  de la línea central (del mismo lado) (ver figura 3.31.)

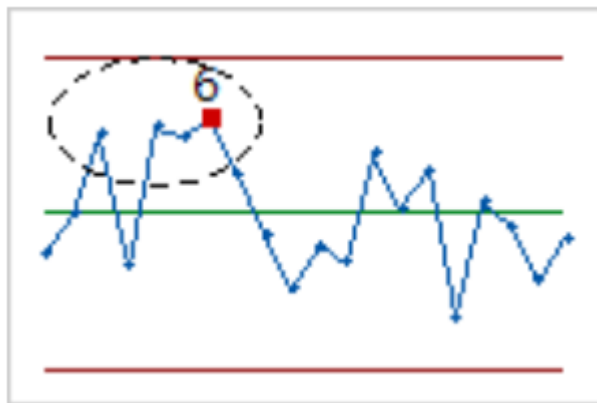
La Prueba 5 detecta pequeños cambios rápidos en el proceso.



**Figura 3.31.** Prueba 5 de Minitab para detectar causas especiales (Fuente: [12])

- **Prueba 6:** Cuatro de cinco puntos a más de  $1\sigma$  de la línea central (del mismo lado) (ver figura 3.32.)

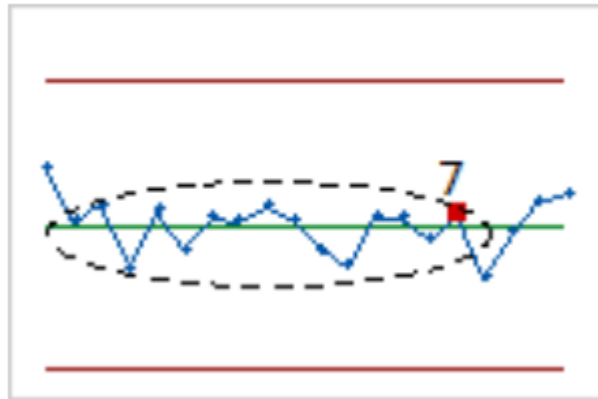
La Prueba 6 detecta pequeños cambios rápidos en el proceso.



**Figura 3.32.** Prueba 6 de Minitab para detectar causas especiales (Fuente: [12])

- **Prueba 7:** Quince puntos consecutivos dentro de  $1\sigma$  de la línea central (en cualquier lado) (ver figura 3.33.)

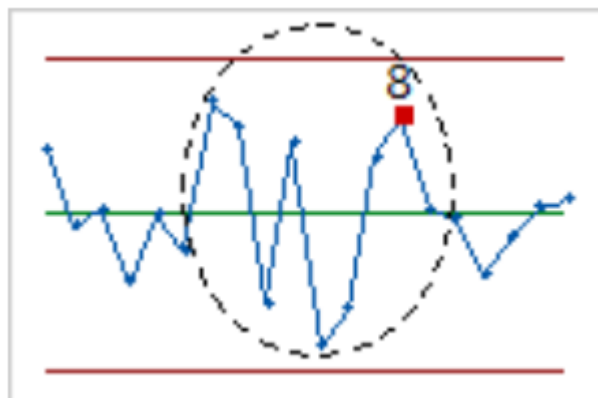
La Prueba 7 detecta un patrón de variación que a veces se toma erróneamente como evidencia de un control adecuado. Esta prueba detecta límites de control que son demasiado amplios. Límites de control que son demasiado amplios generalmente se deben a datos estratificados, lo que ocurre cuando una fuente de variación sistemática está presente dentro de cada subgrupo.



**Figura 3.33.** Prueba 7 de Minitab para detectar causas especiales (Fuente: [12])

- **Prueba 8:** Ocho puntos consecutivos a más de  $1\sigma$  de la línea central (en cualquiera de los lados) (ver figura 3.34.)

La Prueba 8 detecta un patrón de mezcla. En un patrón de mezcla, los puntos tienden a ubicarse lejos de la línea central y cerca de los límites de control.



**Figura 3.34.** Prueba 8 de Minitab para detectar causas especiales (Fuente: [12])

### ¿Qué prueba se debe utilizar para detectar patrones específicos de variación por causa especial?

Se deben aplicar ciertas pruebas basándose en el conocimiento del proceso. Si es probable que los datos contengan determinados patrones, es recomendable buscarlos mediante la prueba apropiada. Al agregar más pruebas, la gráfica es más sensible, pero también puede incrementar la probabilidad de obtener una señal falsa. Cuando se utiliza varias pruebas simultáneamente, aumenta la posibilidad de obtener una señal de falta de control.

Para los gráficos de control aplicados, se han usado las siguientes pruebas para detectar patrones en los datos de soldadura, recopiladas en la figura 3.35.:

Test	K
<input checked="" type="checkbox"/> 1 punto > K desviaciones estándar desde la línea central	3
<input checked="" type="checkbox"/> K puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central	9
<input checked="" type="checkbox"/> K puntos consecutivos, todos ascendentes o todos descendentes	6
<input checked="" type="checkbox"/> K puntos consecutivos, alternando hacia arriba y hacia abajo	14
<input type="checkbox"/> K de K+1 puntos > 2 desviaciones estándar desde la línea central (mismo lado)	2
<input type="checkbox"/> K de K+1 puntos > 1 desviación estándar desde la línea central (mismo lado)	4
<input checked="" type="checkbox"/> K puntos consecutivos dentro de 1 desviación estándar de la línea central (cualquier lado)	15
<input checked="" type="checkbox"/> K puntos consecutivos > 1 desviación estándar desde la línea central (cualquier lado)	8

**Figura 3.35.** Pruebas de Minitab seleccionadas para el proceso de soldadura (Fuente: propia)

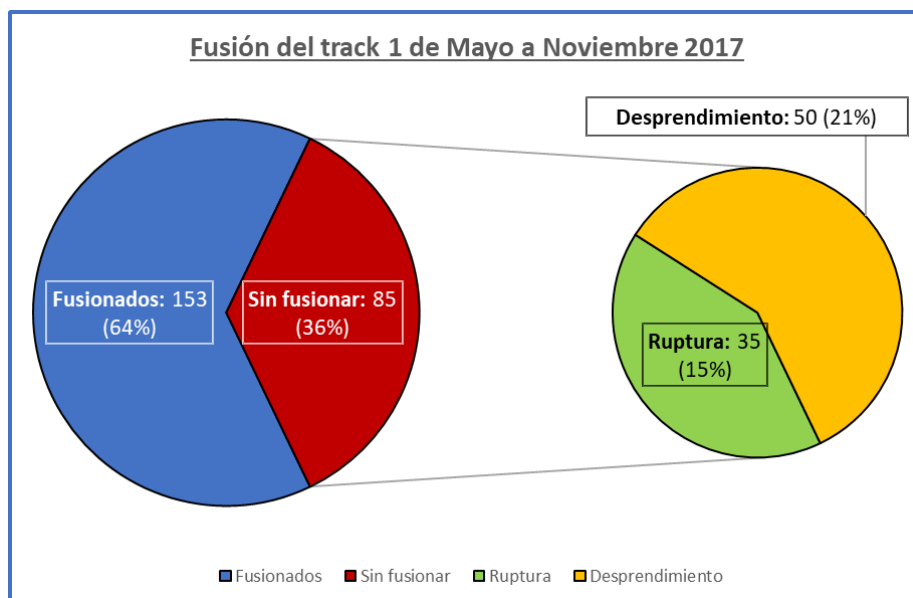
Minitab permite dividir la gráfica en segmentos para comparar el proceso bajo diferentes condiciones. Dichos segmentos son llamados ETAPAS. En nuestro caso, cada inicio de etapa lo marca el cambio de electrodo. Cada cambio de electrodo constituye un nuevo entorno de trabajo para la soldadura, aunque los parámetros se mantengan. Cada cambio de electrodo sería equivalente a realizar el mismo experimento en diferentes laboratorios. A pesar de que se insista en duplicar las mismas condiciones, el resultado nunca será exactamente idéntico.

### 3.6. PROCESO DESCONTROLADO (de mayo 2017 a noviembre 2017)

Como ya se ha expuesto con anterioridad, durante este intervalo de tiempo se utilizan los parámetros recomendados por el fabricante de cables. Sin embargo, no se aplica ninguna herramienta estadística para el control de calidad, luego sólo se realiza un muestreo aleatorio del proceso. Asimismo, con frecuencia se comete un error muy recurrente. Debido al pánico de malos resultados, se cambian varias variables al mismo tiempo. Sin lugar a duda esto constituye una mala praxis, puesto que es imposible discernir qué efecto provoca cada una de las variables en el resultado final de la ecuación. Lo ideal es ir modulando una de ellas, manteniendo constante las otras, para que así las lecciones extraídas sean concluyentes.

Además, como se demostrará a lo largo del análisis gráfico, el Límite Central Inferior establecido durante esta época es demasiado bajo (300g). Esfuerzos de tracción demasiado bajos suelen significar soldaduras muy frágiles. Cuando esto sucede es sumamente peligroso, ya que normalmente el terminal afectado se desprende (no ha fusionado correctamente), provocando un circuito abierto.

En primer lugar, se realiza el gráfico circular (figura 3.36.) de todo este intervalo de tiempo, para comprobar la efectividad de la fusión del primer terminal, y así poderla comparar con la efectividad del seguimiento, iniciado en noviembre.



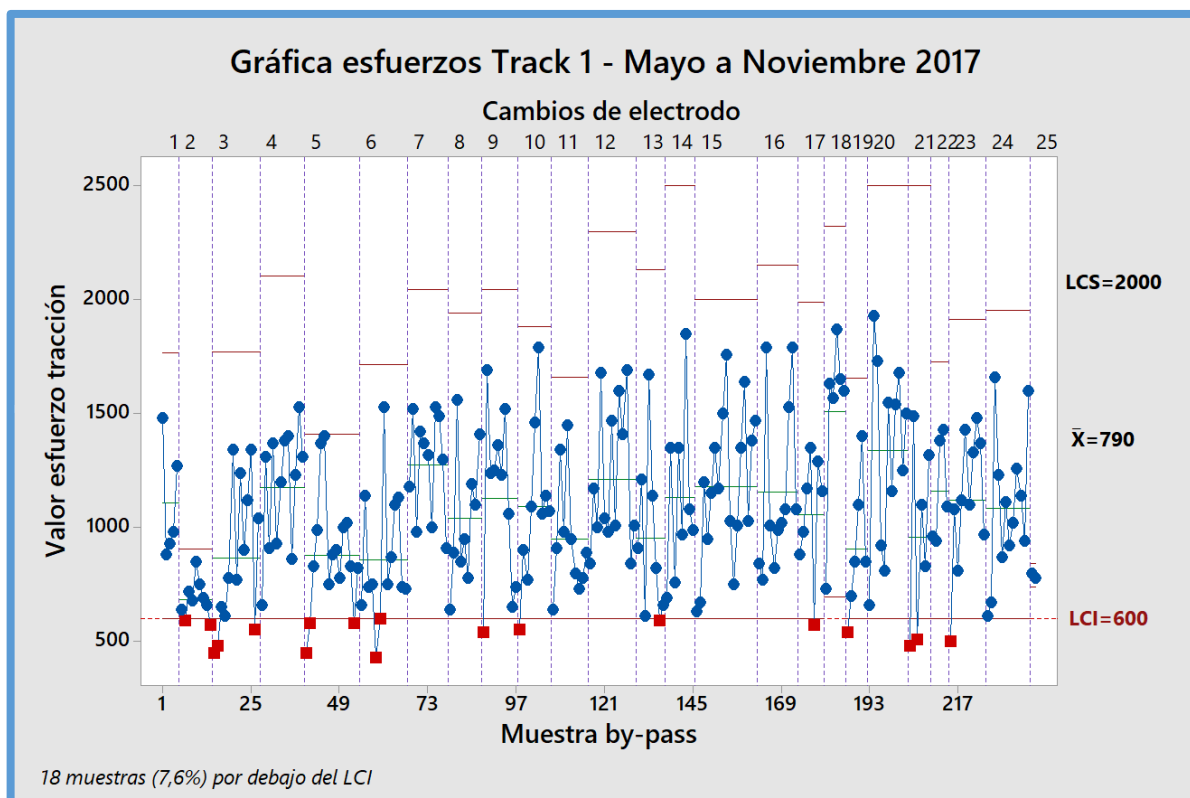
**Figura 3.36.** Efectividad de la fusión del primer terminal con proceso descontrolado (Fuente: propia)

De un total de 238 muestras tomadas durante este intervalo de siete meses, la friolera cantidad de 85 (36% del total) no habían fusionado correctamente. Lo más alarmante de todo es el gran número de muestras con un desprendimiento en el primer terminal (21% del total). Como ya se ha dicho con anterioridad, el desprendimiento se ha de intentar evitar a toda costa, ya que refleja un **proceso descontrolado** y constituye un alto riesgo para el funcionamiento correcto del producto final.

Este 21% de primeros terminales desprendidos es, sin lugar a duda, nuestro tendón de Aquiles y explica la gran cantidad de incidentes asociados a malas soldaduras de by-pass.

Posteriormente, se realiza el gráfico de control de valores individuales (figura 3.37.). En el eje de vertical encontramos el valor del esfuerzo de ruptura para cada una de las muestras tomadas durante el intervalo de siete meses. El gráfico ha sido segmentado, a su vez, en etapas marcadas por cada cambio de electrodo.





**Figura 3.37.** Gráfico de control del proceso descontrolado (Fuente: propia)

La media total de los esfuerzos de tracción es de 790 gramos, un valor exageradamente bajo.

*Nota: A pesar de que el LCI estadísticamente correcto es de 737 gramos, se decide fijarlo a un valor de 600 gramos. En apartados posteriores se justificará el por qué. El LCS de 2000 gramos es puramente académico. Si se hace un esfuerzo igual o mayor es, en general, un gran resultado.*

Además, tal y como se puede observar en el gráfico, 18 muestras (un total de 7,6%) han dado valores por debajo del LCI. Todas ellas no han superado la Prueba 1: el punto se encuentra más allá de tres desviaciones estándar respecto la línea central.

Por lo tanto, el proceso está claramente descontrolado. Existe un alto riesgo de no cumplir con los requerimientos mínimos de calidad exigida y que nuestro producto final sea defectuoso.

### Construcción de los diagramas de dispersión

La gráfica de dispersión muestra la relación entre una entrada continua del proceso (X) y una salida del proceso (Y). Por lo tanto, explica el grado de correlación entre dos variables, pero no la causalidad entre ambas. Hay varias consideraciones que se deben de tener en cuenta a la hora de graficar relaciones entre variables. Todo el contenido teórico sobre la construcción de los diagramas de dispersión ha sido extraído de la referencia (soporte de Minitab [12]).

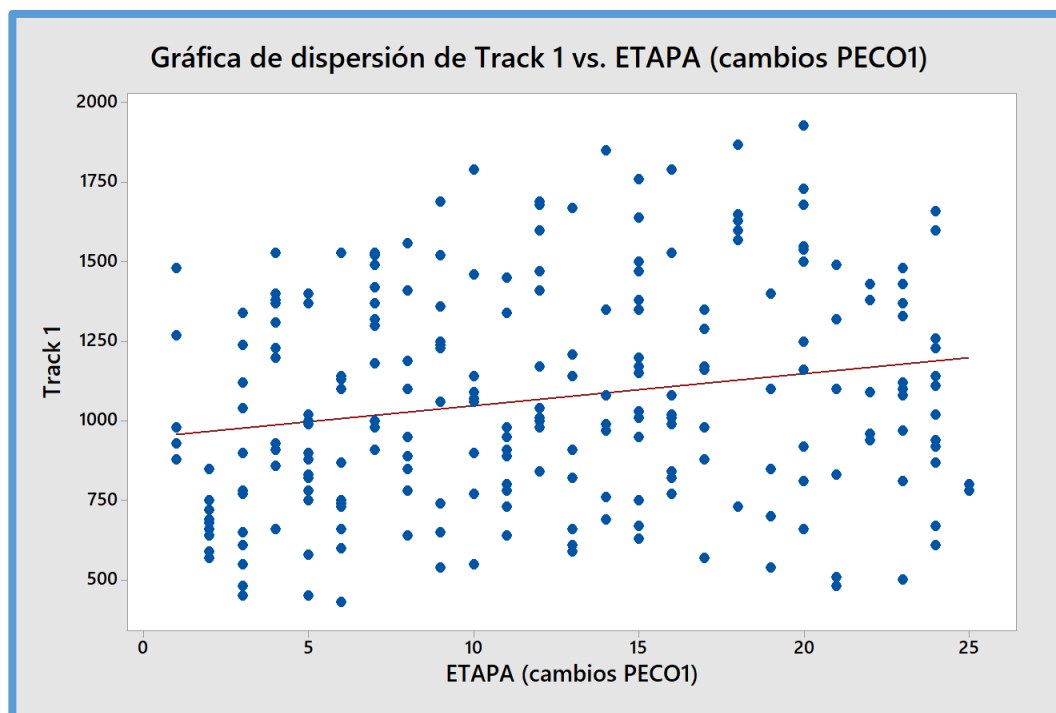
## Recolección de los datos

- *Recolectar una muestra de datos de moderada a grande.* Aunque no hay directrices formales sobre la cantidad de datos que se necesita para una gráfica de dispersión, las muestras más grandes indican patrones en los datos con mayor claridad. La gráfica de dispersión con una línea de regresión ajustada es más efectiva cuando se tiene aproximadamente 40 o más puntos de datos.
- *Registrar los datos en el orden de recolección.* Generalmente, es una práctica adecuada registrar los datos en la hoja de trabajo en el mismo orden en que se recolectan. De ese modo, se puede evaluar patrones relacionados con el tiempo en los datos.

## Uso de la gráfica

- *Examinar la gráfica para buscar una relación entre Y y X.* Se debe buscar un patrón o tendencia de asociación en los puntos de datos. Resulta útil preguntarse lo siguiente, ¿tiende a subir o bajar la variable Y junto con la variable X? ¿Tiende a dispersarse (mostrar más variación) la variable Y con ciertos niveles de X? La línea de regresión graficada puede hacer que sea más fácil observar la relación entre Y y X.
- *Examinar la ecuación de regresión y el ajuste del modelo.* La ecuación obtenida mediante Minitab muestra la relación entre la variable Y y la variable X: Para cada incremento de una unidad en la variable X, la magnitud promedio del cambio en la variable Y que se puede esperar. R-cuadrado es el porcentaje de variación de Y que es explicado por el modelo de regresión. En general, valores de R-cuadrado más altos indican que el modelo se ajusta adecuadamente a los datos.

Por último, se ha creído conveniente realizar un gráfico de dispersión (figura 3.38.) para comprobar la relación entre los valores de esfuerzos de tracción y los distintos cambios de electrodo.



**Figura 3.38.** Gráfica de dispersión para comprobar la mejora paulatina de la soldadura (Fuente: propia)

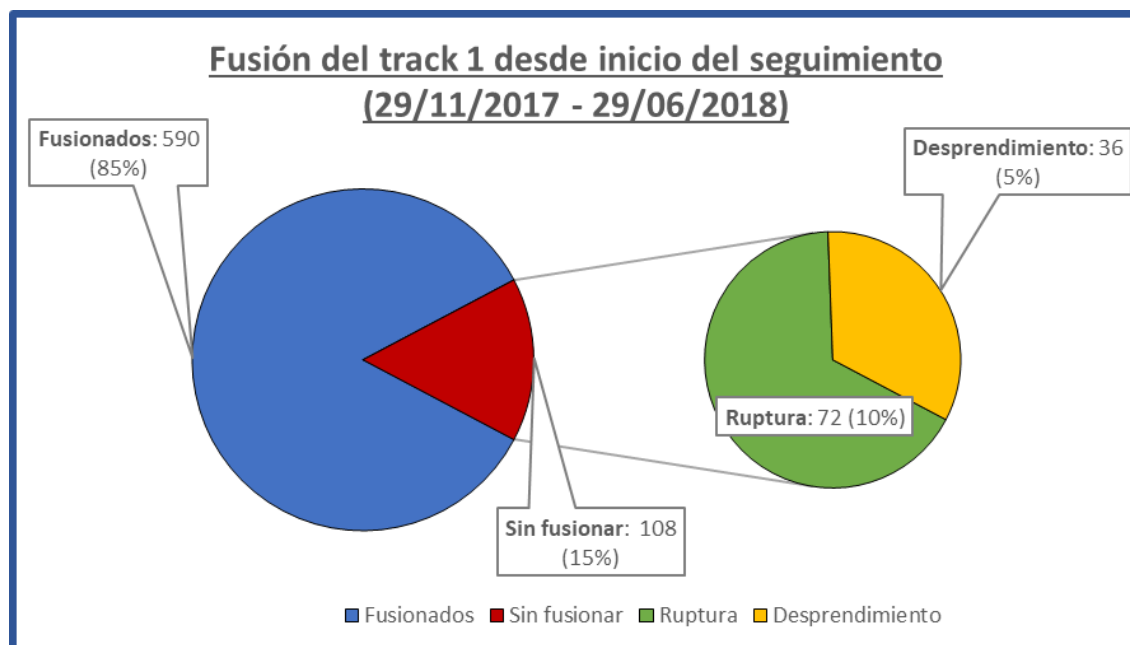
El gráfico nos muestra cómo, a medida que cambiamos de electrodo, mejoramos la media de los valores de esfuerzo de tracción. Sin embargo, dicha tendencia de mejora se produjo a base de prueba y error, ya que no se seguía ningún tipo de metodología definida o concreta.

### 3.7. PROCESO CONTROLADO - Inicio del seguimiento (de noviembre 2017 a junio 2018)

Debido a que en noviembre de 2017 hay un pico de tres incidentes en cliente asociados con malas soldaduras del primer terminal de by-pass, se decide tomar cartas en el asunto. Se establece un equipo de trabajo que implica tanto al departamento de Calidad Cliente como al de Calidad Producción. El objetivo es claro: supervisar el proceso y contener el goteo de incidencias relacionadas con malas soldaduras. Está suponiendo un gasto demasiado alto para la empresa.

*Nota: los incidentes sucedieron durante una época turbulenta. El departamento de Calidad estaba desbordado de trabajo. Se estaban realizando tanto transfers (recibir líneas enteras de producción de otras plantas, por ejemplo, de Polonia) como expansiones a China y México. Consecuentemente, se aplica una metodología reactiva y no proactiva. Se encara el problema (causa y consecuencia) en lugar de intentar enmendarlo cuando empiezan a aparecer los primeros síntomas de descontrol.*

Primeramente, se realiza un gráfico circular (figura 3.39.) para comprobar la efectividad de la fusión del primer terminal, una vez se ha iniciado el seguimiento de soldadura. Dicho gráfico nos muestra una imagen general de la gran eficacia y mejora del proceso:



**Figura 3.39.** Efectividad de la fusión del primer terminal durante el seguimiento (Fuente: propia)

En primer lugar, durante este intervalo de siete meses, se han tomado un total de 698 muestras, casi el triple que durante los siete meses anteriores. Aunque un tamaño de muestra mayor supone mayor esfuerzo y tiempo para ser analizado, también explora de una manera más completa la verdadera variabilidad del proceso.

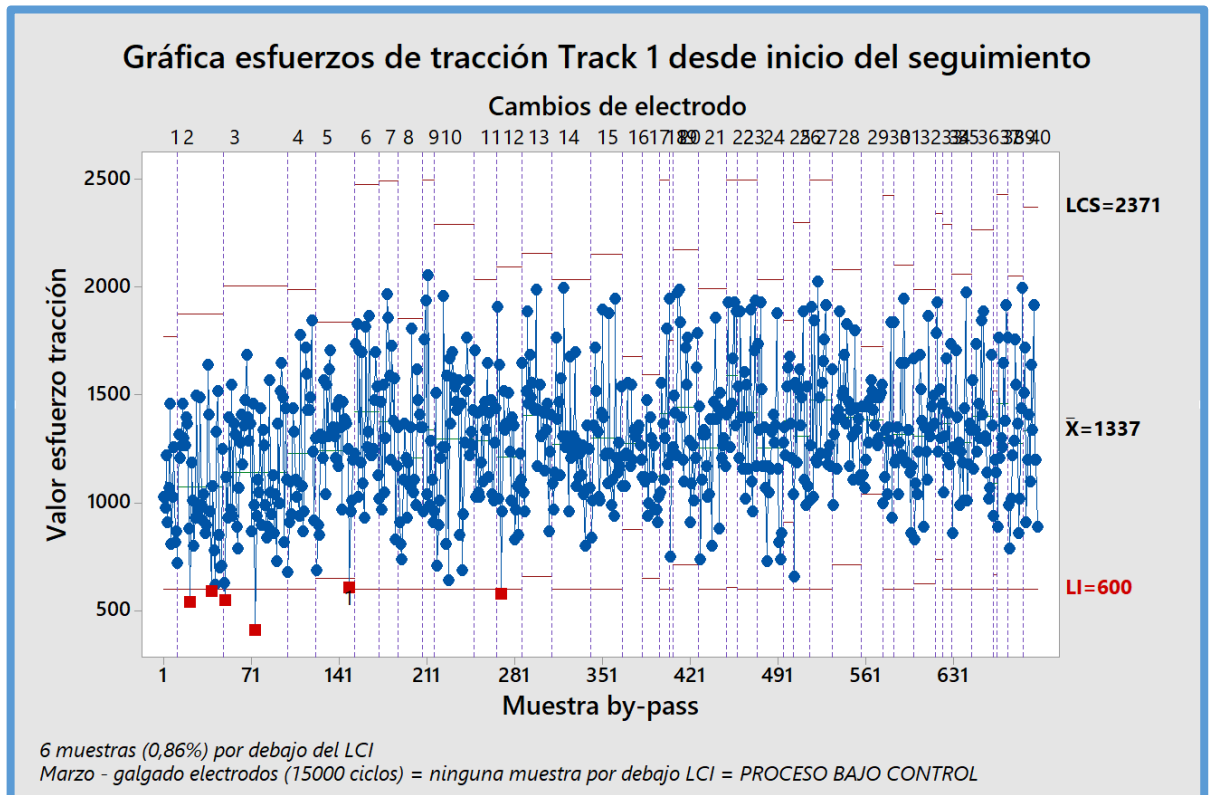
*Nota: La recolección de datos es como la degustación de vinos de calidad: se necesita la cantidad adecuada. Con el vino, un trago muy pequeño impediría evaluar con precisión un aroma sutil, pero uno muy grande inundaría el paladar.*

Asimismo, durante este intervalo y mediante control estadístico, se ha conseguido reducir un 16% el porcentaje de terminales desprendidos con respecto a los siete meses anteriores. Tan sólo un 5% de las muestras totales se han desprendido. El riesgo de incidentes, por consiguiente, también se ha reducido significativamente.

Adicionalmente, también se ha conseguido reducir en un 21% el porcentaje de terminales sin fusionar en general, lo cual representa todo un logro.

Posteriormente, se realiza el gráfico de control de valores individuales (figura 3.40.), el cual ha sido construido siguiendo los mismos criterios que en el período anterior al seguimiento. En el eje de

vertical encontramos el valor del esfuerzo de ruptura para cada una de las muestras tomadas durante el intervalo de siete meses. El gráfico ha sido segmentado, a su vez, en etapas marcadas por cada cambio de electrodo.



**Figura 3.40.** Gráfico de control del seguimiento (Fuente: propia)

En primer lugar, cabe resaltar que la media total de los esfuerzos de tracción es de 1337 gramos, el cual representa casi el doble que la media antes de empezar el seguimiento. Nos hemos alejado pues de los valores con alto riesgo de desprendimiento.

*Nota: Como con anterioridad, se decide fijar el LCI a 600. El LCS es puramente académico.*

Adicionalmente, tal y como se puede observar en el gráfico, tan sólo 6 muestras (un total de 0,86%) han dado valores por debajo del LCI. Las seis muestras no han superado la Prueba 1: el punto se encuentra más allá de tres desviaciones estándar respecto la línea central.

Hasta principios de febrero de 2018, el proceso está poco controlado, ya que la mayor densidad de muestras por debajo del LCI se encuentran en los primeros cinco cambios de electrodo.

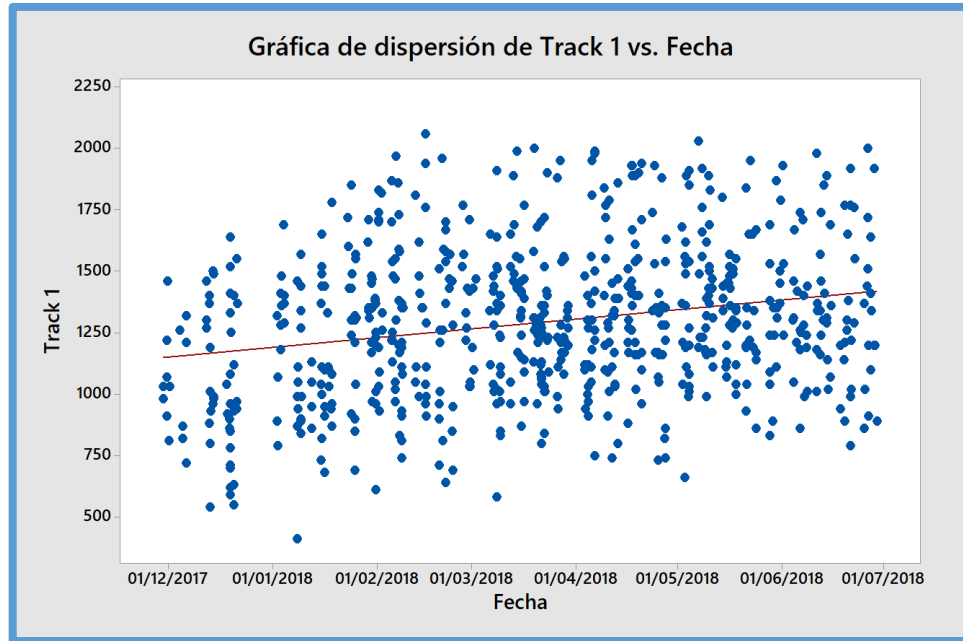
Sin embargo, en marzo nos aparece de nuevo otro valor de esfuerzo por debajo del LCI. Esto nos hace sospechar y deducimos que existe alguna variable que influye en el resultado final de soldadura que no estamos teniendo en cuenta.

Investigando el proceso, aunque siempre limitados por la exigencia de la producción Just-in-Time, se decide controlar las siguientes variables e implementar nuevas directrices. Estas nuevas pautas nos servirán para reducir la variación ENTRE subgrupos o etapas, entre otras cosas:

- **Número de ciclos de los electrodos.** Con cada soldadura, el electrodo se va desgastando. A su vez, también podría llegar a desalinearse ligeramente del terminal a soldar. Por lo tanto, se establece un máximo de 25.000 ciclos para cada electrodo, indistintamente de si es el superior o inferior. Cuando dicho número sea alcanzado, se cambiarán los electrodos para prevenir su desgaste. *Hasta la fecha se cambiaban cuando empezaban a dar soldaduras con mal aspecto.*
- **Galgado de los electrodos.** Asimismo, se establece otra directriz. Cuando los electrodos lleven 15.000 ciclos serán galgados por el mecánico de línea, para asegurar así un correcto posicionamiento y alineamiento respecto al terminal a soldar. Es conocido que cuando los electrodos llevan 15.000 ciclos o más, ya han asumido el régimen de trabajo óptimo.
- **Aportación de resina dieléctrica,** una vez se han soldado los siete terminales. Se cree que podría llegar a influir en la funcionalidad eléctrica si no se respeta el tiempo de secado.

A partir del decimoprimer cambio de electrodos (marzo de 2018), se implementan las directrices definidas. Todas las muestras superan las pruebas de causas especiales. Por lo tanto, se puede concluir, con significancia estadística, que los datos son totalmente aleatorios y que no siguen ningún tipo de patrón específico. **El proceso está controlado.**

Por último, se ha creído conveniente realizar un gráfico de dispersión (figura 3.41.) para comprobar la relación entre los valores de esfuerzos de tracción y la fecha de realización de las soldaduras respectivas.



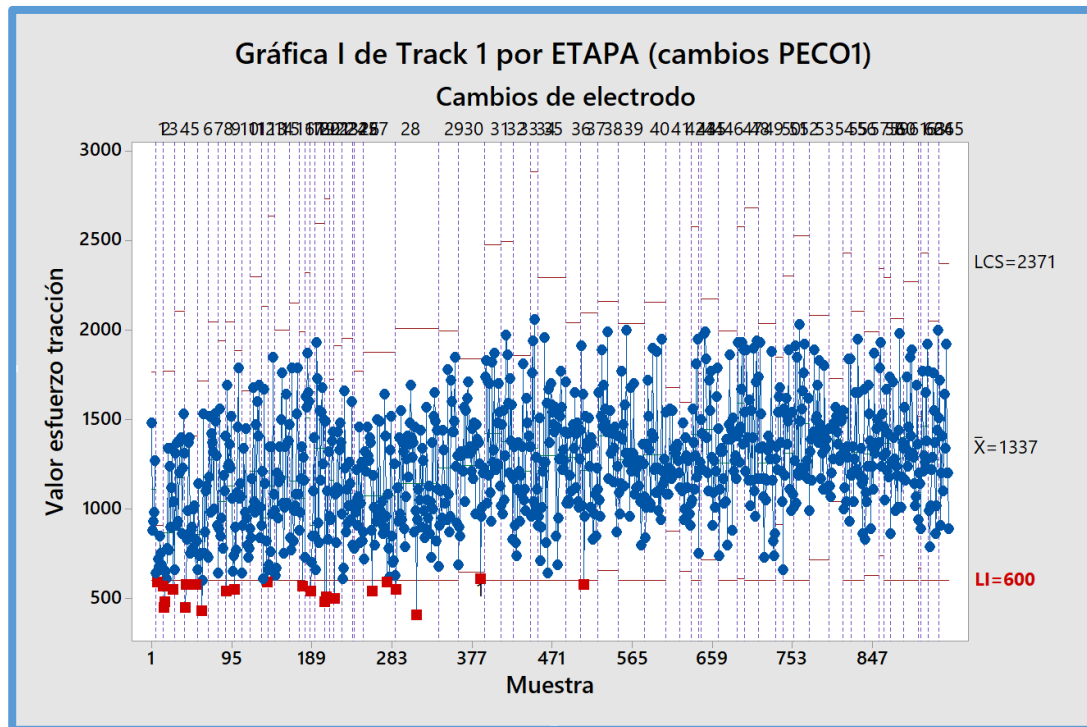
**Figura 3.41.** Gráfico de dispersión del seguimiento (Fuente: propia)

El gráfico muestra como a medida que avanza el seguimiento, mejora paulatinamente el proceso de soldadura. Aunque la pendiente de la recta no es demasiado pronunciada, la tendencia siempre es creciente. Asimismo, cabe resaltar que la media de los esfuerzos es, en general, muy superior al período anterior a la implantación del seguimiento.

### 3.8. PROCESO COMPLETO (mayo 2017 a junio 2018)

Hasta ahora se ha segmentado el proceso en dos etapas claramente diferenciadas: durante la primera etapa, el proceso estaba claramente descontrolado, como se ha evidenciado con anterioridad. Durante la segunda etapa, en la que ya se inicia el seguimiento para paliar la ingente cantidad de incidentes, el proceso acaba siendo controlado mediante herramientas de control estadístico.

Sin embargo, resulta muy útil ver la cronología completa del proceso. A continuación, en la figura 3.42. se muestra el gráfico de control de todas las muestras tomadas hasta la fecha:



**Figura 3.42.** Gráfico de control del proceso completo (Fuente: propia)

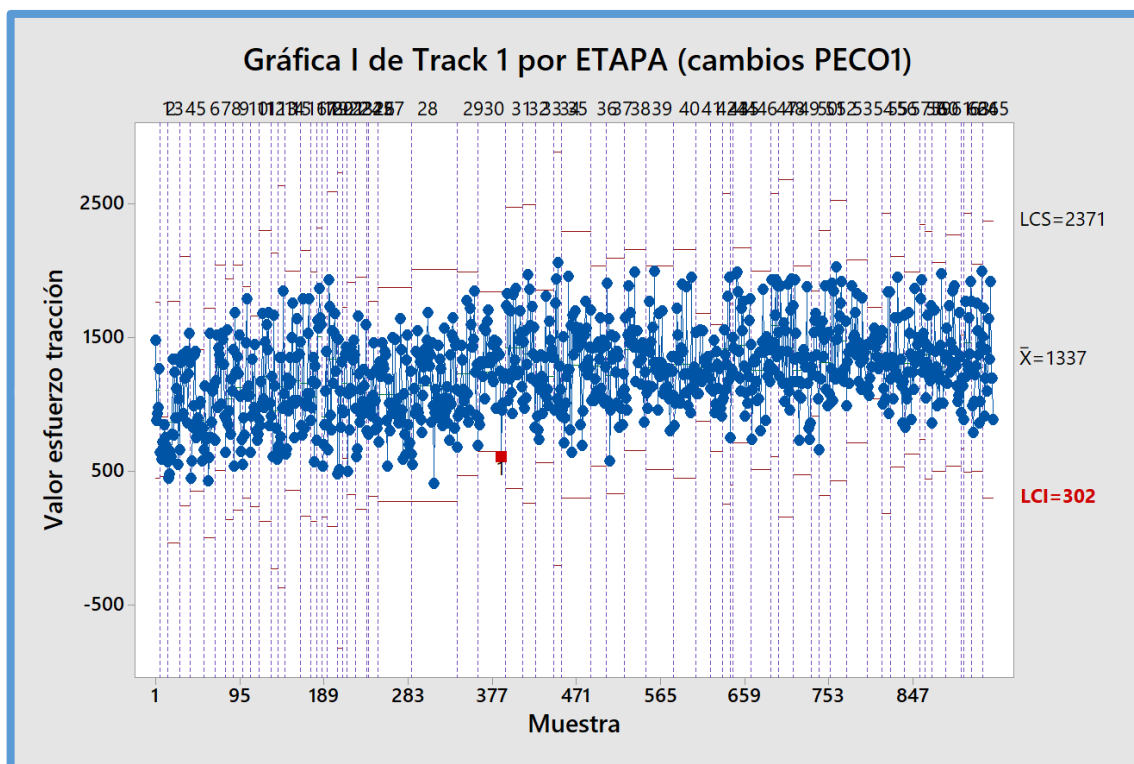
Como puede apreciarse en el gráfico, la mayor densidad de muestras que dan valores de esfuerzo de tracción por debajo del LCI, se encuentra en la primera mitad del proceso.

De cada etapa o cambio de electrodos, Minitab calcula la media de todas las muestras de esa etapa concreta, así como su desviación estándar de manera independiente. Mediante la desviación, también calcula los límites de control inferior y superior de cada cambio de electrodos.

Posteriormente, calcula automáticamente la media de las medias de todas las etapas, así como la media de todos los límites de control superiores e inferiores. Es el resultado que vemos en la parte derecha del gráfico.

Sin embargo, creer ciegamente en los valores calculados automáticamente, así como en lo “estadísticamente correcto”, no siempre es recomendable. Por ejemplo, la figura 3.43. se ha construido sin “limitar” y establecer nuestro LCI a 600 gramos.





**Figura 3.43.** Gráfico de control del proceso completo sin LCI establecido (Fuente: propia)

En primer lugar, cabe destacar que el LCI estadísticamente correcto es 302 gramos, un valor que, como ya se ha visto, tiene un alto riesgo de desprendimiento.

*Nota: Quizás este resultado nos da una idea de por qué el LCI estaba establecido en un principio en 300 gramos.*

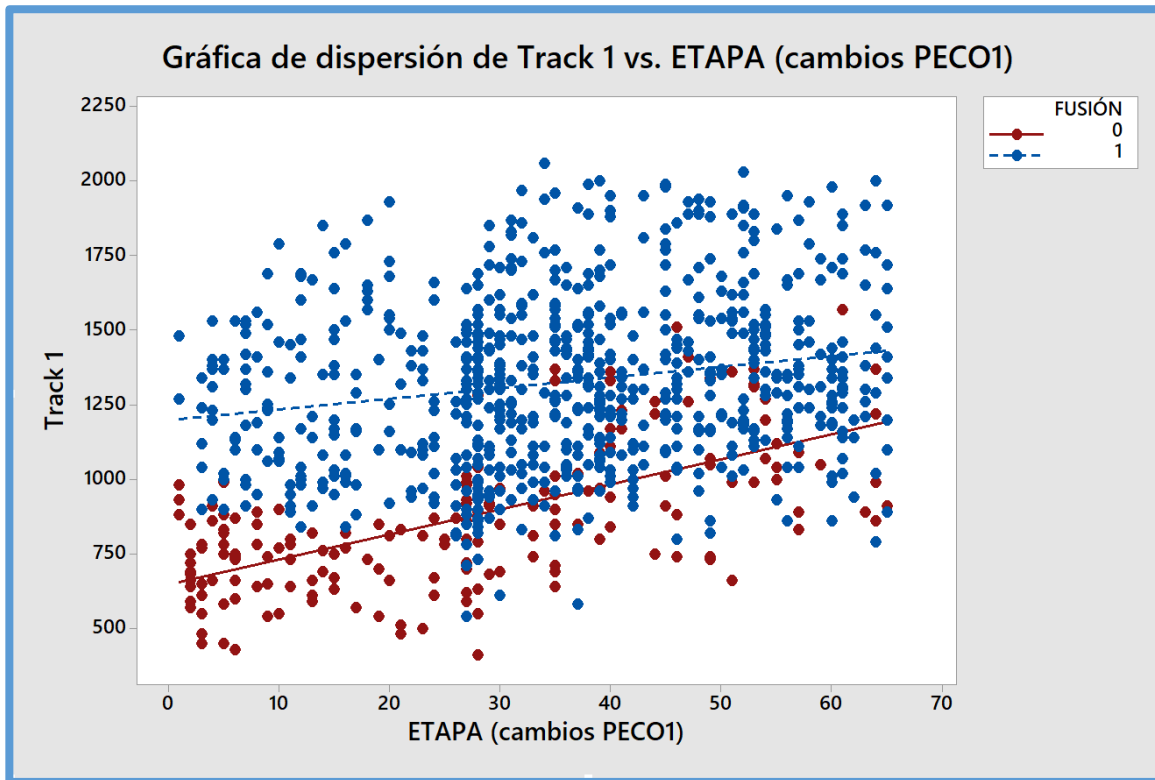
Por otro lado, algunos de los LCI de alguna etapa en concreto son negativos. Obviamente, esto es incorrecto. No hay esfuerzos de tracción negativos.

Adicionalmente, tan sólo una muestra no pasaría las pruebas de causas especiales, ya que se encuentra por debajo de tres desviaciones estándar respecto la línea central. Esto es erróneo, ya que significaría que el proceso está bajo control y proporcionando grandes resultados desde el inicio y sin necesidad de iniciar un seguimiento.

Este diagrama también ratifica la enorme variabilidad intrínseca de los procesos de soldadura. A pesar de que se dedican grandes esfuerzos para intentar reducir la variación DENTRO de cada subgrupo o etapa, con cada nuevo cambio de electrodos los resultados difieren entre sí respecto al anterior. Es decir, la variación ENTRE subgrupos es alta.

Con las nuevas directrices expuestas con anterioridad, la variación ENTRE subgrupos debería reducirse significativamente, pero no acaba siendo algo tan evidente.

Finalmente, también se ha creído conveniente realizar un gráfico de dispersión (figura 3.44.) para averiguar la relación entre los valores de los esfuerzos y los sucesivos cambios de electrodo. A su vez, el ajuste de regresión se ha agrupado en dos variables categóricas: los esfuerzos que han fusionado correctamente y los que no.



**Figura 3.44.** Gráfico de dispersión para comprobar la mejora paulatina en los cambios de electrodo (Fuente: propia)

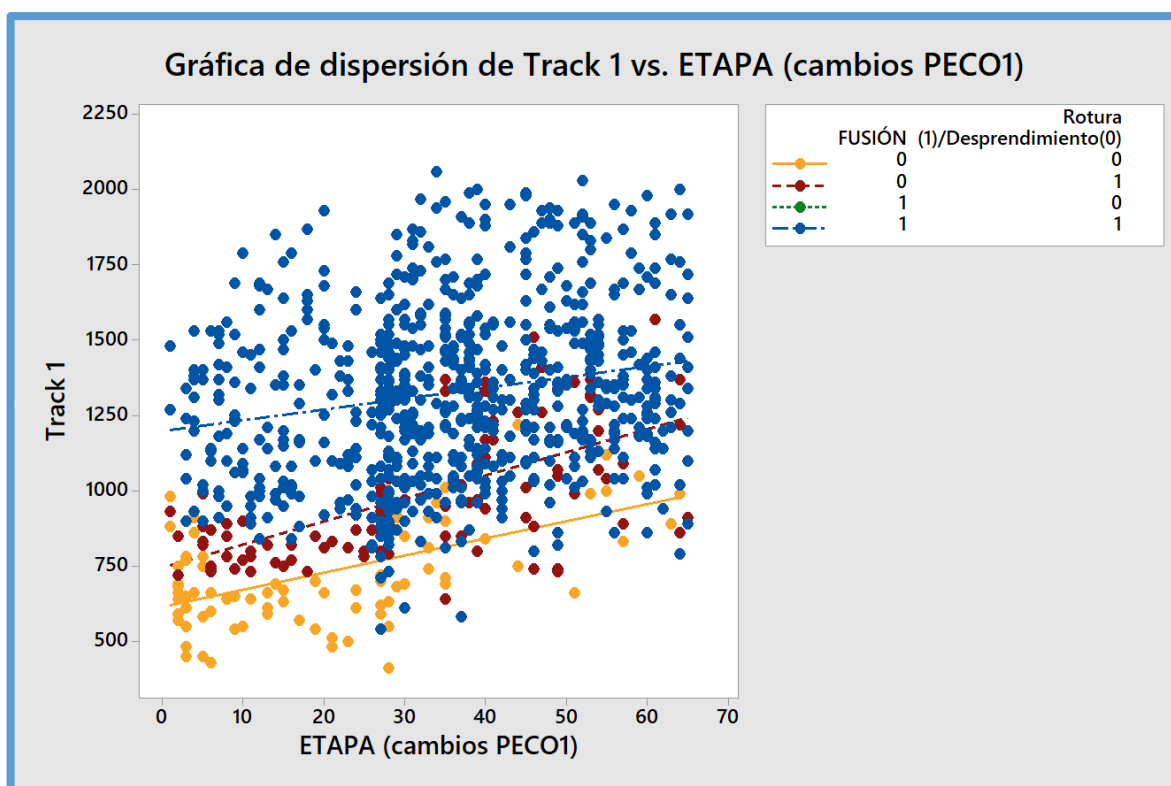
Ambos ajustes muestran una tendencia creciente. A medida que cambiamos de electrodo, la media de los esfuerzos aumenta. Sin embargo, la pendiente positiva de las muestras que no han fusionado correctamente es más pronunciada. Es un fenómeno extraño: siguen apareciendo muestras sin fusionar con valores de esfuerzos altos. Lo lógico sería que el ajuste de regresión fuera plano: las muestras sin fusionar mantienen valores de esfuerzo similares.

*Nota: tal vez este fenómeno deja entrever que la relación entre las siguientes dos variables no es tan evidente como en un principio pudiese parecer:*

- 1) El valor del esfuerzo que da la muestra
- 2) Si la soldadura ha fusionado correctamente

Para averiguar más acerca de este fenómeno, se ha creado un nuevo gráfico de dispersión (figura 3.45.). Esta vez agrupando las muestras en tres variables categóricas: las que han fusionado

correctamente, las que no han fusionado, pero han sufrido rotura y los terminales que directamente se han desprendido.



**Figura 3.45.** Gráfico de dispersión con desprendimiento (Fuente: propia)

La conclusión es la misma: a pesar de que, con el tiempo, soldamos mejor (aumentando la media de los esfuerzos), siguen apareciendo valores altos de terminales sin fusionar e incluso desprendidos.

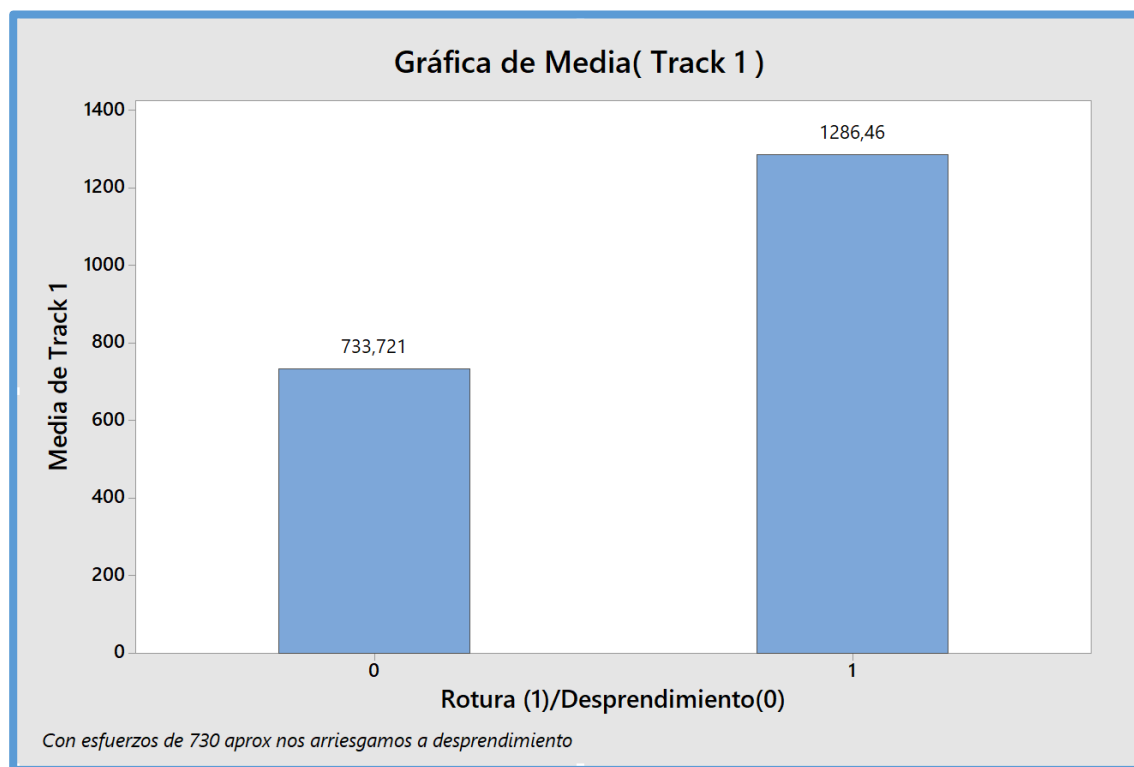
De nuevo, el ajuste de regresión lógico debería ser plano: todas las muestras sin fusionar deberían mantenerse en un valor bajo y relativamente constante. Por lo tanto, el hecho que un terminal esté fusionado o no, no depende exclusivamente del valor del esfuerzo de tracción.

Aun así, cabe destacar que la mayor densidad de desprendimientos (muestras en amarillo) se producen al inicio del proceso, durante los primeros treinta cambios de electrodo.

### Gráfica de media de los esfuerzos sin fusionar

Hasta la fecha, el LCI ha estado definido en 300 gramos al ser lo “estadísticamente correcto”. Como ya se ha visto con anterioridad, acercarse a estos valores en los esfuerzos de tracción tiene un alto riesgo de que el terminal sea soldado incorrectamente, llegando incluso a desprenderse.

Sin embargo, después de estudiar el proceso mediante un seguimiento de control estadístico, se ha decidido fijar el límite de control inferior a 600 gramos, el doble que el original. La figura 3.46. muestra la justificación del nuevo valor establecido.



**Figura 3.46.** Gráfico de media de los terminales sin fusionar y desprendidos (Fuente: propia)

El gráfico refleja que, con valores de esfuerzos cercanos a los 730 gramos, nos arriesgamos al desprendimiento. Este valor es la media de los desprendimientos sucedidos durante todo el proceso. Por otro lado, los terminales sin fusionar que sufren rotura tienen una media de 1290 gramos aproximadamente. No obstante, la rotura tiene mucho menos riesgo que el desprendimiento.

### 3.9. Gráfico de valores individuales. Gráfico de intervalos para determinar la Intensidad Efectiva

El objetivo del siguiente estudio es optimizar los parámetros de intensidad efectiva de la soldadura cuando el electrodo ya ha asumido el régimen de trabajo. Este análisis se realizó al inicio de seguimiento ya que, por aquel entonces, los parámetros de soldadura en cuanto a la intensidad no estaban para nada definidos.

Durante todo el proceso, el parámetro de tiempo de soldadura se ha mantenido en 20 ms para el primer terminal. Esto fue fijado por el proveedor que nos proporciona el cable que es fusionado, cuyo

espesor es muy bajo. Si el tiempo se excede, la soldadura es demasiado pronunciada. Por ende, el único parámetro que podemos variar es la intensidad. Al tener un impacto enorme en el resultado final de una buena soldadura, es de vital importancia tenerlo debidamente definido.

*Nota: como ya se ha explicado con anterioridad, en los cambios de electrodo los parámetros en intensidad efectiva son mayores, además de haber la activación del steeper para así asumir el régimen de trabajo del electrodo con más rapidez. Los parámetros para cambios de electrodo, así como el número de piezas fabricadas con el steeper activado, han sido definidos por el Departamento de Fiabilidad.*

Recaltar que el número de ciclos del electrodo se ha mantenido como constante. Cuando un electrodo se desgasta, realiza una peor soldadura en general. El presente estudio se ha realizado con electrodos que acumulaban unos 15.000 ciclos. Así nos aseguramos que ya han asumido sobradamente el régimen de trabajo.

Asimismo, también remarcar que durante este estudio hemos estado muy limitados por la producción *Just-in-Time*, ya que se debió realizar entre dos turnos para no entorpecer los objetivos de manufactura. Se nos permite realizar un muestreo aleatorio de 80 muestras de tamaño.

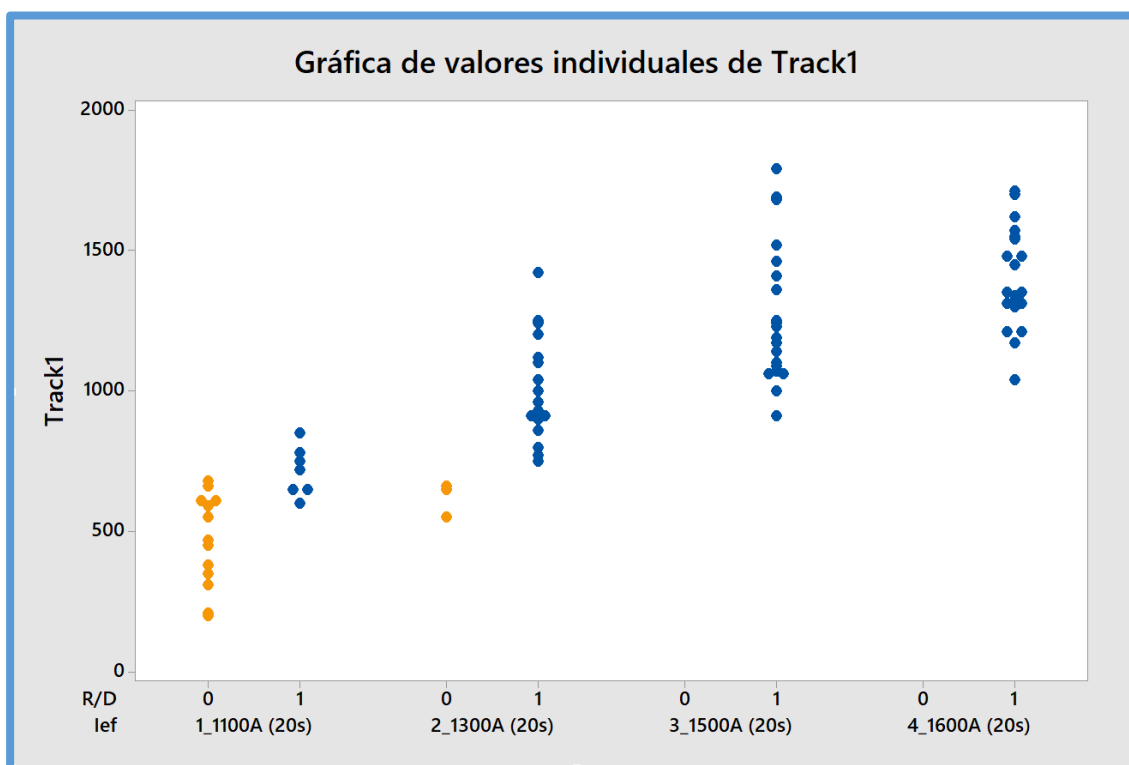
*Nota: mi opinión personal es que merece la pena parar la producción para poder dedicar más tiempo al estudio. Al fin y al cabo, es una inversión de futuro. Es mucho más rentable sacrificar una hora de producción para optimizar correctamente los parámetros de soldadura, en lugar de seguir fabricando con incertidumbre y riesgo a malos resultados. Lo barato acaba saliendo caro. En la gestión de calidad eso es un hecho.*

#### **Consideraciones para la construcción de los gráficos:**

- ✓ Se ha mantenido el mismo tamaño de muestra **n=20** para todas las intensidades. Asimismo, también se han mantenido las mismas condiciones y el mismo electrodo con idéntico número de ciclos (15.000). Como ya se ha comentado con anterioridad, mantenemos fijado a 20 ms el tiempo de soldadura por especificaciones de fabricante.
- ✓ Las intensidades usadas son de 1100A, 1300A, 1500A y, por último, 1600 Amperios. Intensidades inferiores dan soldaduras muy frágiles. Intensidades superiores (1700A para arriba) demasiado pronunciadas.
- ✓ Para los gráficos de intervalos, cuánto mayor sea el número de muestra, más representativo será el resultado. Además, para las mismas condiciones, el Intervalo de Confianza será más estrecho y preciso. En nuestro caso, se ha fijado el IC al 95%.

- ✓ Se ha usado el mismo número de muestra para cada intensidad para que así las diferencias en el ancho del IC se deban únicamente a la variación DENTRO de cada subgrupo de muestras.
- ✓ Para IC de diferentes grupos resulta útil hacerse la siguiente pregunta: *¿se superponen entre sí?* Si el centro y IC de uno de ellos se desmarca del resto, la media de éste es significativamente diferente a la de los demás. Esto nos abre un nuevo abanico de preguntas.
- ✓ Como en todo proceso industrial, se desea reducir al máximo la variabilidad y, por ende, la dispersión. Generalmente, la muestra con un IC más preciso será el valor más óptimo.

En primer lugar, se ha construido un gráfico de valores individuales. La variable del gráfico son los sucesivos valores de los esfuerzos de cada muestra que se han obtenido. En cuanto a la variable categórica para la agrupación (eje horizontal), se han usado las distintas cuatro intensidades efectivas. A su vez, éstas se han dividido en dos grupos: terminales que han sufrido rotura (fusionados) y terminales desprendidos (ver figura 3.47.).



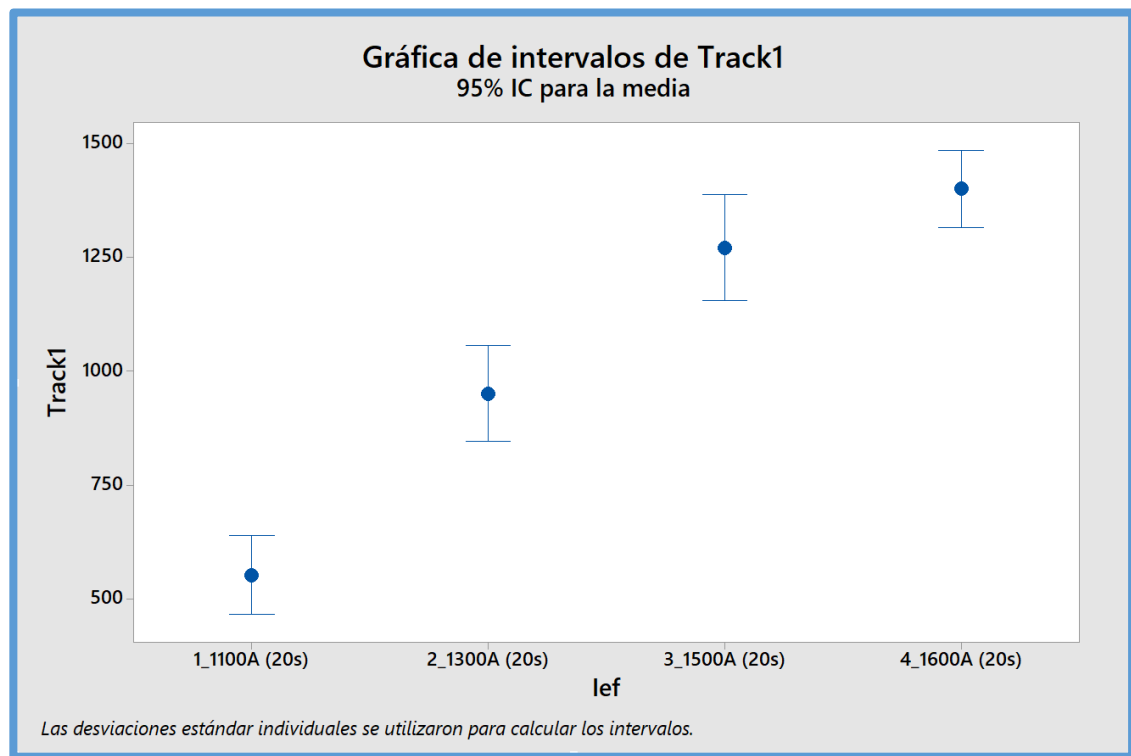
**Figura 3.47.** Gráfica de valores individuales de distintas intensidades efectivas (Fuente: propia)

En amarillo aparecen los terminales que se han desprendido. En azul, los que han fusionado correctamente. Por lo tanto, la primera conclusión clara es que usando una intensidad efectiva de 1100A, existe mucho riesgo al desprendimiento. Luego esta intensidad puede ser descartada como opción.

Con una intensidad de 1300A, la media en general parece ser mucho más alta. Sin embargo, también nos aparecen tres muestras que sufren desprendimiento. Pese a ser un tanto por ciento mucho menor a la intensidad anterior, también puede ser descartada como opción viable.

Para las dos intensidades superiores, sus respectivas medias son sustancialmente mayores. Además, en ninguno de los dos casos se ha producido desprendimiento. A simple vista, parece ser que mediante la intensidad de 1500A se obtienen valores más altos de esfuerzo. Sin embargo, también hay más dispersión. Como ya se ha dicho con anterioridad, en todo proceso industrial se desea minimizar la variación.

Necesitaremos elaborar un gráfico de Intervalos para poder averiguar cuál es la mejor opción entre ambas. Mediante el gráfico de valores individuales anterior se ha construido el de Intervalos. Los IC son calculados a partir de la dispersión (desviación estándar) entre muestras del mismo subgrupo (intensidad efectiva) (ver figura 3.48.).



**Figura 3.48.** Gráfica de intervalos de distintas intensidades efectivas (Fuente: propia)

El IC de las primeras dos intensidades no se superponen con el resto. Estadísticamente hablando, su media se destaca significativamente del resto. En el caso de 1100A, el centro del IC es un valor extremadamente bajo, con alto riesgo de desprendimiento. En cuanto a la intensidad de 1300A, a pesar de que el centro de su IC tiene un valor más alto, también existe bastante dispersión. Por lo tanto, ambas opciones son descartadas como efectivas.

Gracias al gráfico de intervalos, podemos concluir que la mejor opción en cuanto a la Intensidad efectiva es la de 1600 amperios. La media es la más alta (centro), así como la precisión de su IC, puesto que es el más estrecho de todas las opciones. Por lo tanto, también es la opción con menor variabilidad.

*Nota: a pesar de que la opción de 1500A tiene una media significativamente mayor que las dos opciones inferiores, también ostenta la mayor variabilidad. Es el IC más ancho.*

### **Conclusión:**

A partir de este estudio realizado al inicio del seguimiento, se empezó a usar la intensidad efectiva de 1600 amperios cuando los electrodos ya habían asumido el suficiente régimen de trabajo. Es la opción que produce mejores resultados y menor variabilidad.

Los resultados desde entonces han sido extraordinarios. Se ha reducido en gran medida la aparición de terminales desprendidos.

## **3.10. Efectividad del seguimiento**

A continuación, se usarán los datos de esfuerzos de tracción tomados durante todo el proceso con el objetivo de evaluar la efectividad del seguimiento realizado. Para ello, se ha llevado a cabo un estudio comparativo entre dos períodos:

- **Período comprendido entre mayo y noviembre de 2017** → Proceso sin controlar estadísticamente.
- **Período comprendido entre noviembre de 2017 y junio de 2018** → Inicio del seguimiento. Implementación de procedimientos en el cambio de electrodos. Proceso controlado estadísticamente.

En primer lugar, se confeccionan histogramas con ajuste de ambos períodos para examinar la forma y dispersión de los datos. El resultado se puede observar en la figura 3.49 y la 3.50., respectivamente.



Período comprendido entre mayo y noviembre de 2017

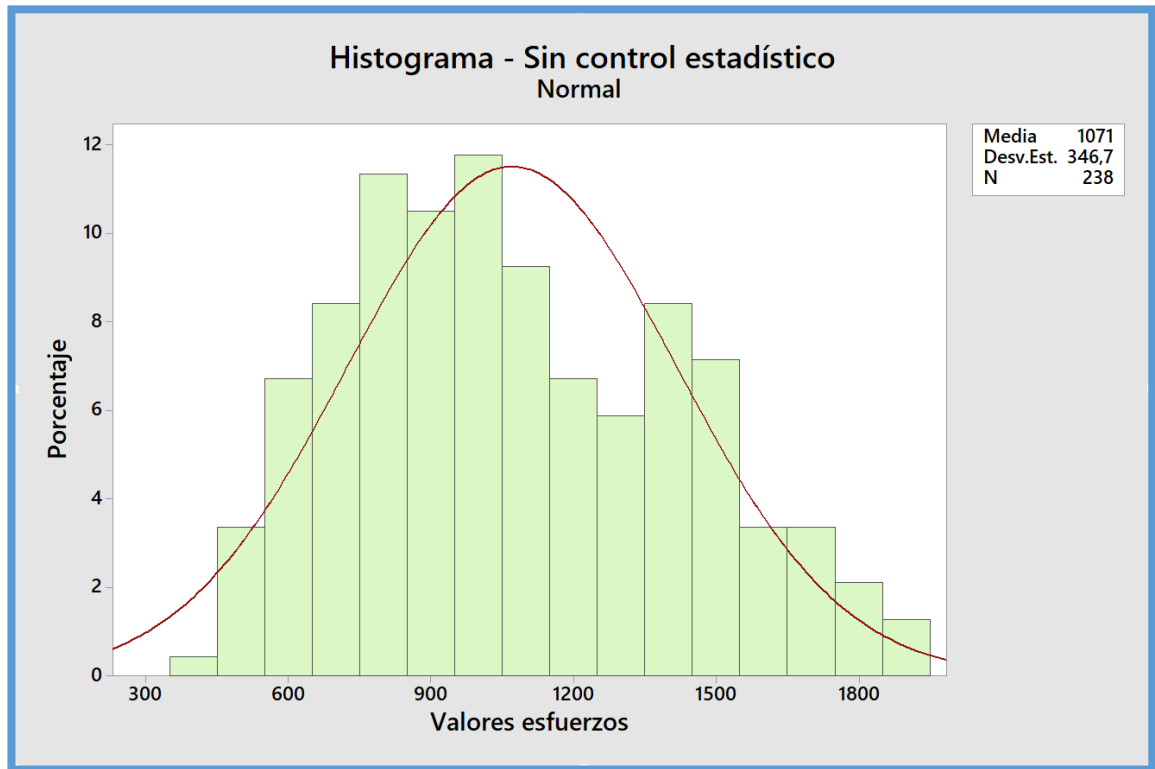


Figura 3.49. Histograma del proceso sin control estadístico (Fuente: propia)

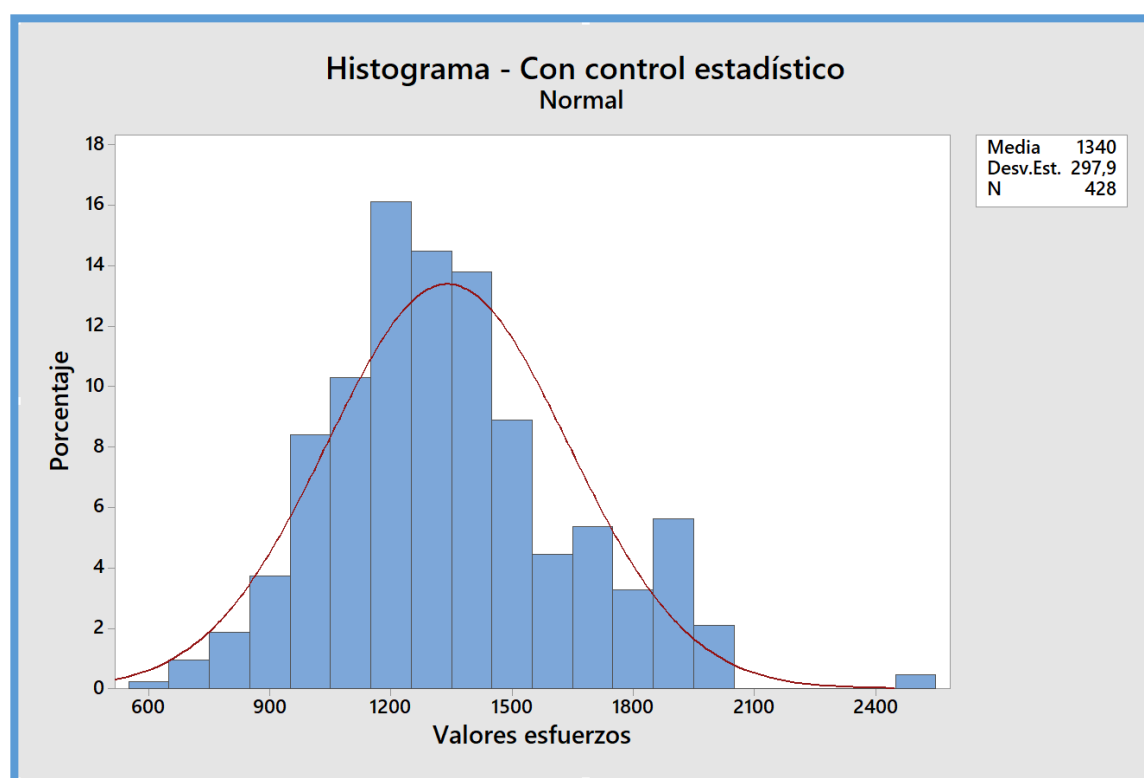
#### Interpretación de los resultados clave:

- **Picos y dispersión:** La media de los datos está en 1071 gramos. Sin embargo, existen varios picos (conglomerados más altos de barras) de valores más comunes que provocan una dispersión alta. La desviación estándar es de 346,7 gramos. Un porcentaje alto de datos se encuentran cerca del LCI fijado en 600.
- **Tamaño de muestra:** mientras más grande sea la muestra, mayor será la semejanza del histograma a la forma real de la distribución de la población. En este caso, es de tamaño 238, suficientemente grande para no afectar la apariencia de la gráfica.
- **Indicadores de datos inusuales o no normales:**
  - **Valores atípicos:** son valores de datos que están muy alejados de otros valores de datos y pueden afectar fuertemente los resultados. Más adelante, se ha elaborado un gráfico de valores atípicos para poder evaluarlos de forma más clara.
  - **Datos asimétricos:** Cuando los datos son asimétricos, la mayoría de los datos se ubican en la parte superior o inferior de la gráfica. La asimetría indica que los datos

pueden no estar distribuidos normalmente. En este caso, los datos tienden a ser ligeramente asimétricos hacia la derecha. Hay una concentración mayor de esfuerzos de tracción con resultados bajos.

- **Datos multimodales:** Los datos multimodales tienen más de un pico. Los datos multimodales generalmente ocurren cuando los datos se recopilan a partir de más de un proceso o condición. En el caso de nuestro proceso, los cambios de electrodo provocan este fenómeno que hace aumentar la dispersión en los datos. Existe un pico multimodal anormalmente alto en 1400 y 1500 gramos que hace sospechar acerca de la normalidad de los datos.

**Período comprendido entre noviembre de 2017 y junio de 2018**



**Figura 3.50.** Histograma del proceso con control estadístico (Fuente: propia)

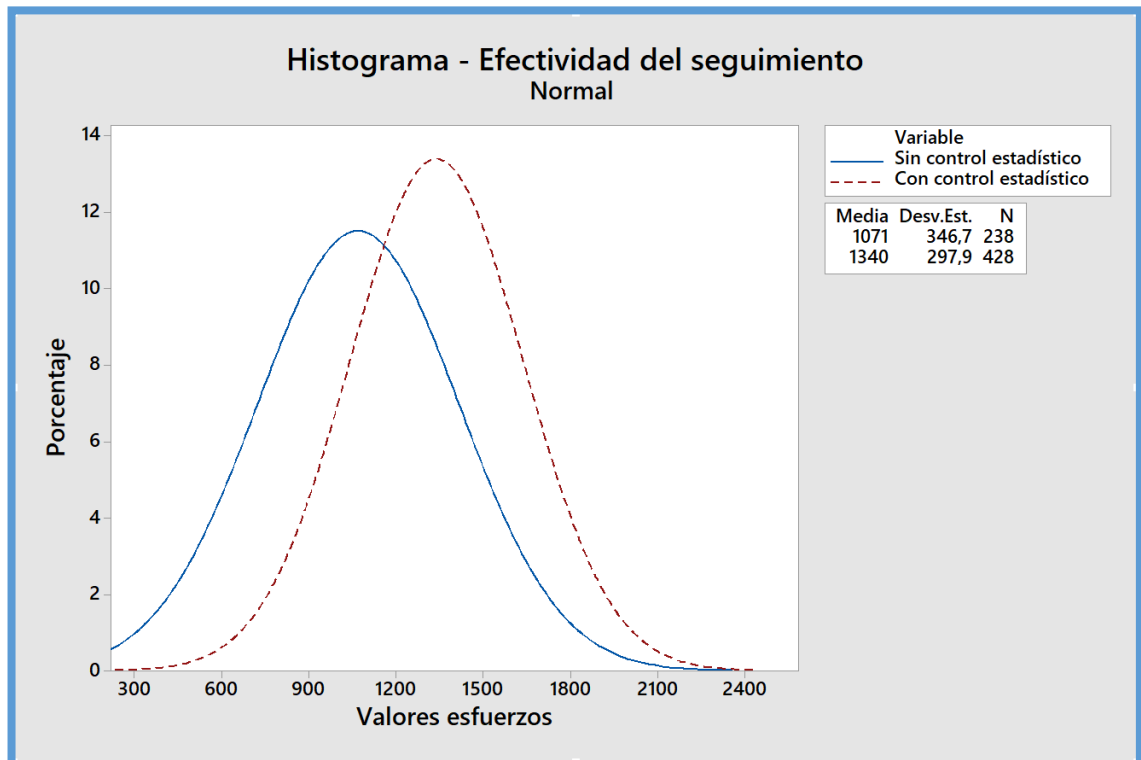
#### Interpretación de los resultados clave:

- **Picos y dispersión:** La media de los datos está en 1340 gramos. Por lo tanto, se ha logrado aumentar la media general de soldadura mediante el seguimiento de control estadístico. Asimismo, la desviación estándar también se ha reducido a 297,9 gramos (reducción de un 14%). Un porcentaje muy bajo de datos se encuentra cerca del LCI fijado en 600. *Por lo tanto,*

se ha conseguido alcanzar el objetivo principal del seguimiento: reducir al máximo las soldaduras con alto riesgo de desprendimiento.

- **Tamaño de muestra:** es de tamaño 428. Por consiguiente, el histograma muestra de manera muy exacta la distribución de la población.
- **Indicadores de datos inusuales o no normales:**
  - **Valores atípicos:** se ha elaborado un gráfico de valores atípicos más adelante. Por lo pronto, se observan varios en 2500 gramos alejados de la campana de Gauss que, con toda probabilidad, afectarán considerablemente a la normalidad de los datos.
  - **Datos asimétricos:** los datos tienden a ser ligeramente asimétricos hacia la derecha, al igual que en el caso anterior.
  - **Datos multimodales:** Existe un pico multimodal alto en 1900 gramos. A pesar de que probablemente afecte considerablemente a la normalidad de la distribución, este pico refleja una soldadura muy buena.

En la figura 3.51. se han superpuesto ambas distribuciones (sin agregar barras) para estudiar con más detenimiento sus líneas ajustadas



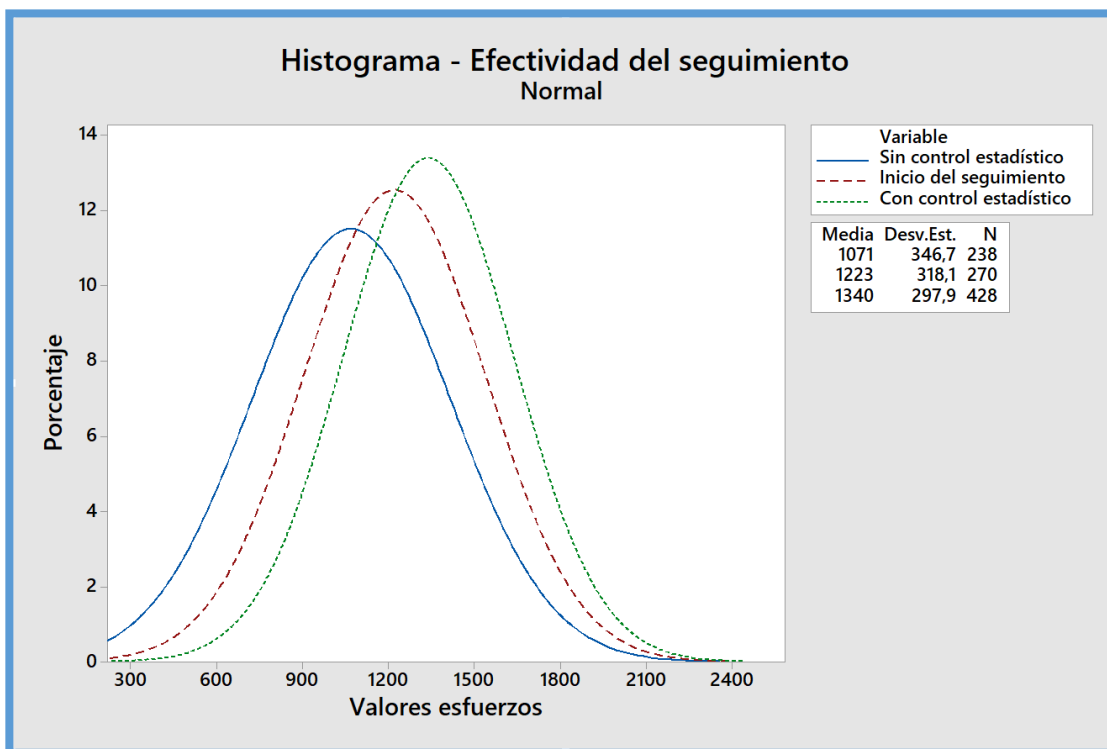
**Figura 3.51.** Histograma de la efectividad del seguimiento (I) (Fuente: propia)

### Interpretación de los resultados clave:

- La campana del proceso controlado estadísticamente (de color rojo) es más estrecha, lo que refleja unos resultados más homogéneos y una reducción de la dispersión en los datos.
- Además, la media de la campana roja tiene la media significativamente más alta. El control estadístico ha aumentado la efectividad y rendimiento del proceso.

Se ha considerado oportuno desglosar el período comprendido entre noviembre de 2017 y junio de 2018 en dos etapas para interpretar los resultados de una manera más precisa. La figura 3.52. divide el proceso en un total de tres etapas:

- ✓ **Período comprendido entre mayo y noviembre de 2017** → Proceso sin controlar estadísticamente.
- ✓ **Período comprendido entre noviembre de 2017 y febrero de 2018** → Inicio del seguimiento. Muestreado aleatorio. Ajuste de parámetros. Sin control estadístico real.
- ✓ **Período comprendido entre febrero y junio de 2018** → Implementación de procedimientos y consignas para los cambios de electrodo. Ajuste optimizado de los parámetros de soldadura. Control estadístico real.

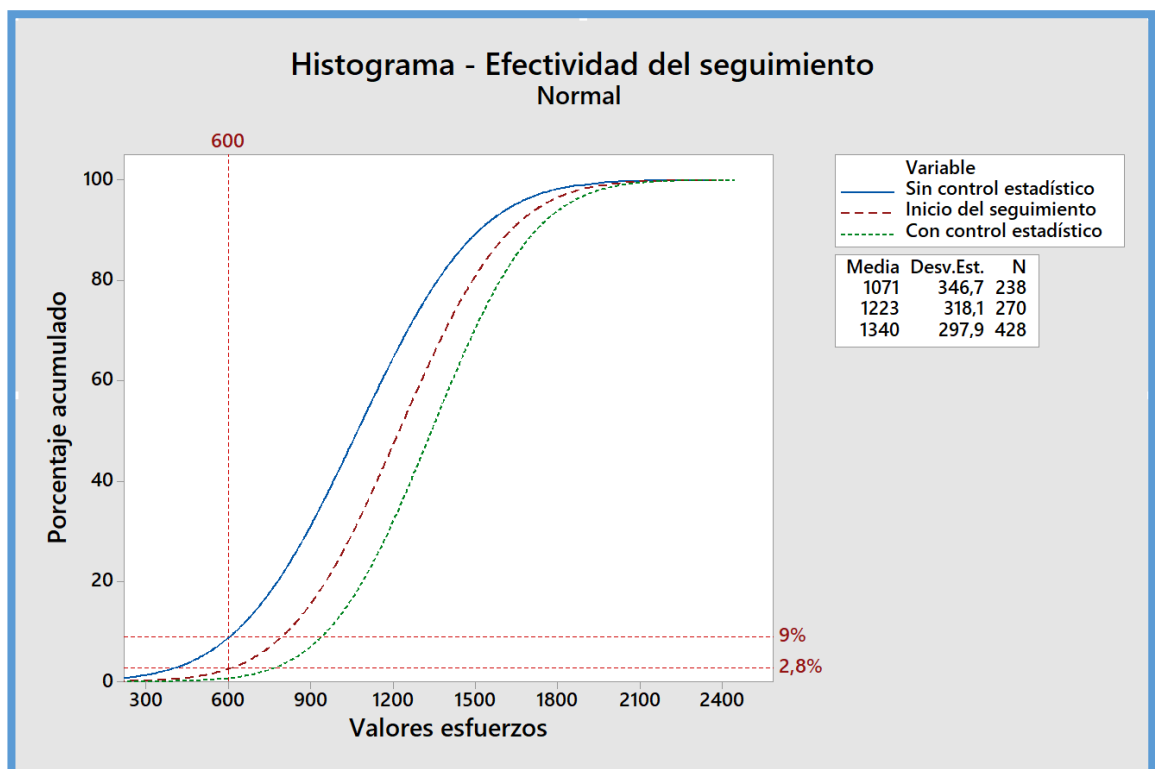


**Figura 3.52.** Histograma de la efectividad del seguimiento (II) (Fuente: propia)

### Interpretación de los resultados clave:

- Con el inicio del seguimiento, los resultados del proceso mejoran en general mediante un muestreo aleatorio más minucioso y un ajuste “a ojo” de los parámetros de soldadura.
- Sin embargo, el punto de inflexión real sucede cuando se establece un control estadístico del proceso, se optimizan los parámetros de soldadura y los cambios de electrodo.

Se confecciona otro histograma, con porcentajes de datos acumulados de izquierda a derecha, con el propósito de visualizar, para cada una de las tres etapas, el tanto por ciento de resultados por debajo del LCI=600 gramos. El resultado puede observarse en la figura 3.53.



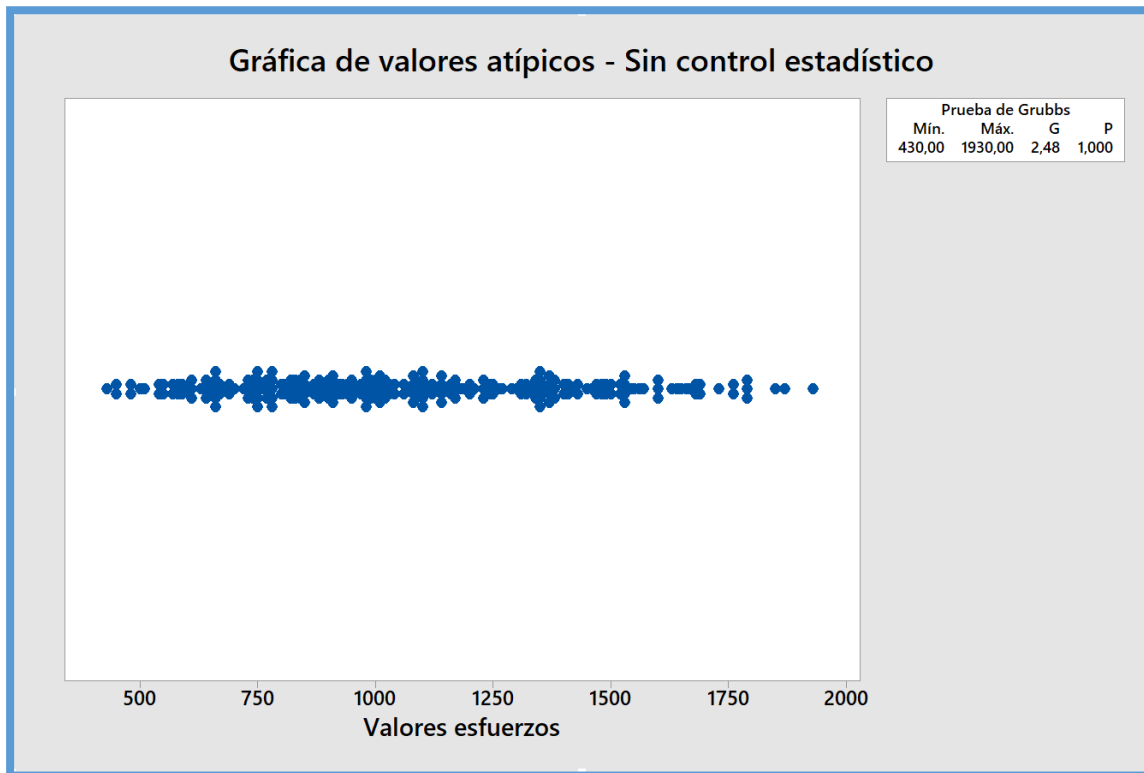
**Figura 3.53.** Histograma de la efectividad del seguimiento con porcentajes acumulados (Fuente: propia)

### Interpretación de los resultados clave:

- El proceso sin controlar estadísticamente tiene un 9% de probabilidad de originar soldaduras con esfuerzos de ruptura por debajo de 600 gramos. Como ya se ha comentado con anterioridad, las muestras con estos valores corren un alto riesgo de sufrir un desprendimiento en el terminal 1.
- Con el inicio del seguimiento, se reduce el riesgo de desprendimiento a una tercera parte, en concreto a 2,8% de probabilidad.

- Cuando se aplica un control estadístico más exhaustivo, se consigue reducir el riesgo prácticamente al completo.

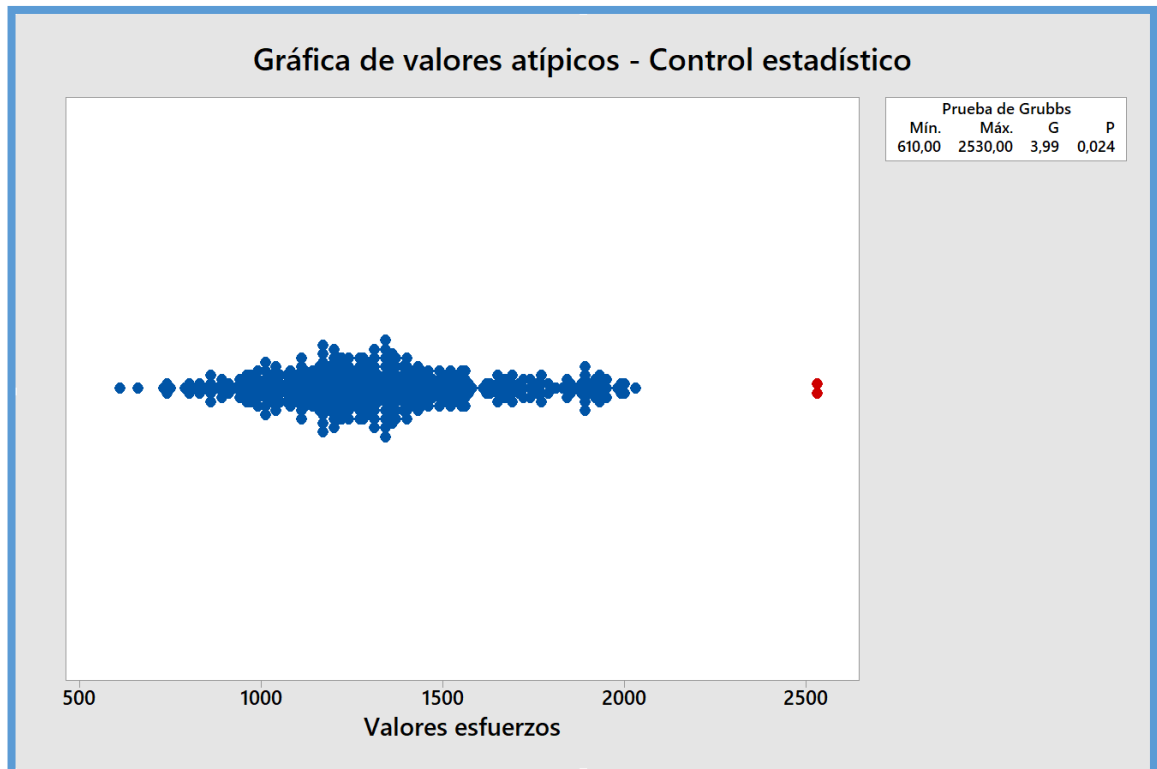
A continuación, en las figuras 3.54. y 3.55. se confeccionan gráficos de valores atípicos de ambos períodos en busca de indicadores que revelen no normalidad en los datos.



**Figura 3.54.** Gráfica de valores atípicos del proceso sin control estadístico (Fuente: propia)

#### Interpretación de los resultados clave:

- En primer lugar, no hay grandes cúmulos de valores similares. La gráfica es significativamente plana y con valores muy dispersos. No existen valores atípicos en los resultados.
- El valor máximo de esfuerzo es de 1930 gramos.
- El valor mínimo de esfuerzo es de 430 gramos. No difiere lo suficiente de la media como para ser considerado valor atípico.



**Figura 3.55.** Gráfica de valores atípicos del proceso con control estadístico (Fuente: propia)

#### Interpretación de los resultados clave:

- Hay un cúmulo de valores alrededor de los picos de la media. Los resultados tienen más repetitividad que en el período anterior.
- El valor mínimo de esfuerzo está en 610 gramos. En ninguna de las 428 tomas de muestras durante este período, se han obtenido esfuerzos por debajo del LCI.
- El valor máximo de esfuerzo está en 2530 gramos.
- Se encuentran dos valores atípicos superiores que coinciden con el valor máximo obtenido. Estos datos tienen una incidencia significativa en la no normalidad de los datos. Sin embargo, reflejan una soldadura muy buena.

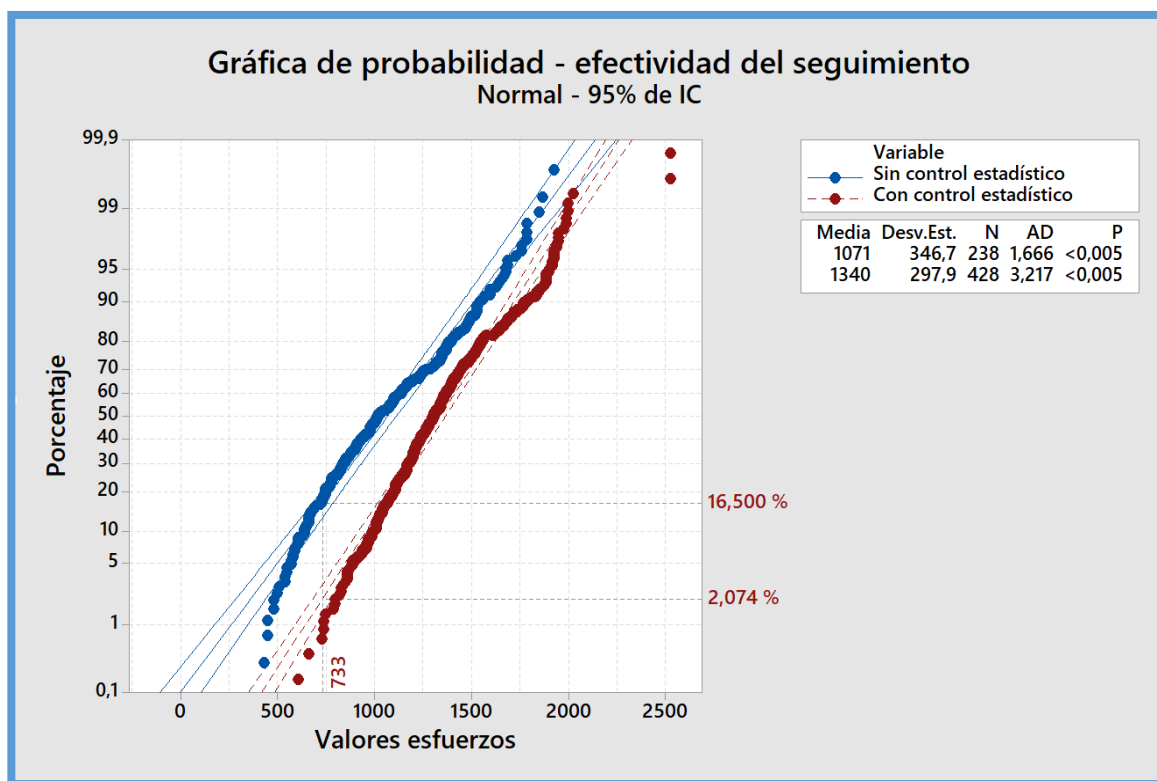
A continuación, en la figura 3.56., se utiliza la gráfica de probabilidad para evaluar el ajuste de las distribuciones a los datos, estimar los percentiles y comparar dichas distribuciones.

Una gráfica de probabilidad muestra cada valor versus el porcentaje de valores de la muestra que son menores o iguales a este valor, a lo largo de una línea de distribución ajustada. El eje Y se transforma mediante la transformación Johnson para que la distribución ajustada forme una línea recta.

Son efectivas para evaluar el grado en que los datos originales y transformados siguen la distribución normal.

Si la transformación de Johnson es efectiva y la distribución normal provee un buen ajuste para los datos transformados, los puntos en la gráfica de los datos transformados deberían seguir de cerca la línea de la distribución normal ajustada. Alejamientos de la línea recta indican que el ajuste es inaceptable y que la transformación de Johnson no es efectiva.

Para interpretar una gráfica de probabilidad se debe evaluar la salida clave que incluye el valor p, la línea de distribución ajustada en sí y los percentiles estimados. El resultado de ambos períodos es el siguiente:



**Figura 3.56.** Gráfica de probabilidad para comprobar la bondad de la distribución ajustada (Fuente: propia)

#### Interpretación de los resultados clave:

- **Forma de la recta:** la forma de las rectas es similar a la que se crea tomando muestras de distintas cavidades para un mismo molde de inyección. Para nuestro proceso, los cambios de electrodo equivaldrían a las distintas cavidades del molde. Para poder realizar una prueba de normalidad concluyente, se debería analizar la normalidad para cada cambio de electrodo. Posteriormente, realizar una ANOVA (análisis de varianza) para determinar si existe diferencia estadística significativa entre cada cambio. Se podría concluir, entonces, que la variación es



proveniente de los subgrupos. Sin embargo, al tener más de 70 cambios de electrodos durante todo el proceso, no se cree conveniente.

- **Valor p:** El valor p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula de que los datos siguen la distribución. Para determinar si los datos siguen la distribución, es conveniente comparar el valor p con el nivel de significancia. Por lo general, un nivel de significancia (denotado como  $\alpha$  o alfa) de 0.05 funciona adecuadamente. Un nivel de significancia de 0.05 indica que el riesgo de concluir que los datos no siguen la distribución, cuando en realidad sí lo hacen, es del 5 %. En ambos casos:

- **Valor  $p \leq \alpha$ : Los datos no siguen la distribución (se rechaza  $H_0$ )**
- Como el valor p es menor que o al nivel de significancia, la decisión es rechazar la hipótesis nula y concluir que la distribución normal no provee un ajuste adecuado para los datos.
- Se prueban otras transformaciones, como la de Weibull, Gamma o Anderson (ver más adelante).

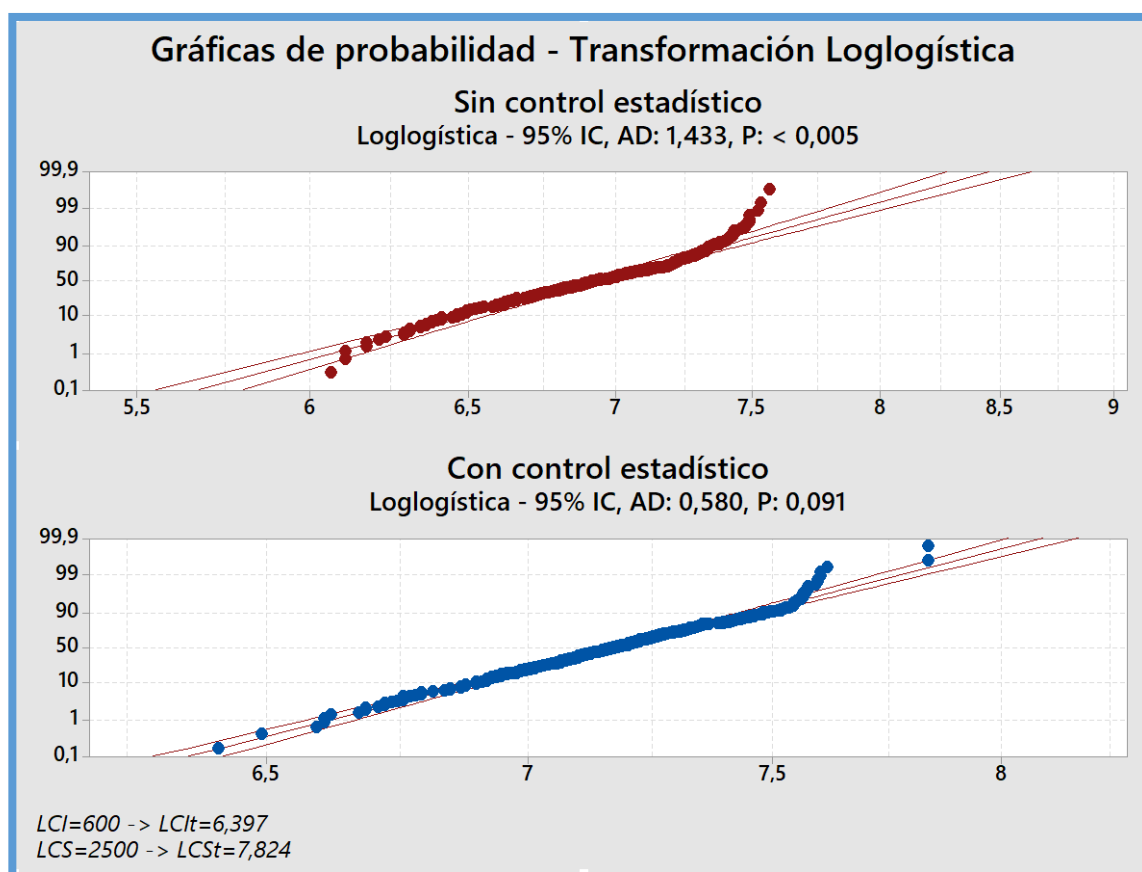
- **Ajuste de la distribución:**

*Nota: La línea de distribución ajustada es la línea recta intermedia en la gráfica. Las líneas continuas externas en la gráfica son los intervalos de confianza de los percentiles individuales, no de la distribución como un todo, y no deben utilizarse para evaluar el ajuste de distribución.*

- **Proceso con control estadístico** → Los puntos de datos se sitúan más estrechamente a lo largo de la línea ajustada. Sin embargo, los valores atípicos, así como los datos multimodales interfieren negativamente en la bondad del ajuste. Los datos siguen una distribución no normal.
- **Proceso sin control estadístico** → Muchos puntos se sitúan distantes respecto a la línea de distribución ajustada. Por consiguiente, se puede concluir que los datos siguen una distribución no normal.
- **Líneas de percentiles:** una línea de percentil tiene dos segmentos que se interceptan en la línea de distribución ajustada. Un segmento se dibuja para interceptar la escala de datos y la otra se dibuja para interceptar la escala de porcentajes. Para el valor de esfuerzo de 733 gramos que, como ya se ha visto con anterioridad, supone un alto riesgo de desprendimiento, se tienen los siguientes percentiles:

- **Sin control estadístico** → Un 16,5% de los esfuerzos obtienen resultados iguales o inferiores a 733 gramos.
  - **Con control estadístico** → Tan sólo un 2,074% de los esfuerzos obtienen resultados iguales o inferiores a 733 gramos. Por lo tanto, mediante el seguimiento, se ha conseguido reducir ocho veces el riesgo a desprendimiento.
- **Transformaciones:** Para el período con control estadístico, se pueden transformar los datos de tal forma que los nuevos datos transformados sí sigan la distribución normal. Mediante la transformación Loglogística, cuyo resultado se puede observar en la figura 3.57., se obtiene:

$$\text{valor } p > \alpha \rightarrow 0,091 > 0,05 \quad (\text{Ec. 3.2})$$



**Figura 3.57.** Gráfica de probabilidad con transformación loglogística de los datos (Fuente: propia)

### ¿Por qué se ha escogido la transformación loglogística (logarítmica)?

En la escala logarítmica hay la misma distancia entre 1 y 10 que entre 10 y 100 y que entre 100 y 1000. Si se transforma cada variable en su logaritmo, los valores entre 1 y 10 se expandirán, mientras que los más altos se comprimirán. Por eso la transformación logarítmica es útil para transformar distribuciones

con sesgo positivo (con cola más larga hacia la derecha – Ver *Histograma - con control estadístico*): la parte izquierda se expandirá, mientras que la derecha se comprimirá, favoreciendo que la curva resultante se ajuste mejor a una normal. Para la transformación del período sin control estadístico:

$$\text{valor } p < \alpha \rightarrow \text{la transformación no provee un ajuste adecuado} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

### Interpretación de los resultados clave – Con control estadístico

La transformación se lleva a cabo mediante la simple sustitución logarítmica de la variable aleatoria, es decir:

$$x = \log(y) \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Los límites de control se han modificado de la siguiente forma:

$$LCI_t = \log(600) = 6,397 \quad (\text{Ec.3.5})$$

$$LCS_t = \log(2500) = 7,824 \quad (\text{Ec. 3.6})$$

- No existe suficiente evidencia para concluir que los datos no siguen la distribución. Por consiguiente, se puede presuponer que los datos siguen la distribución loglogística y la bondad de la línea de ajuste es correcta.
- Se trata de una distribución que se ajusta mejor a los datos que la distribución normal. Mediante esta transformación se procederá a calcular la capacidad del proceso antes y después del inicio del seguimiento.

#### 3.10.1. Análisis de la capacidad del proceso transformado

Una necesidad muy frecuente en los procesos consiste en evaluar la variabilidad y tendencia central de una característica de calidad, para así compararla con sus especificaciones de diseño. Como ya se ha comentado en el capítulo introductorio, la capacidad de proceso es el grado de aptitud que tiene un proceso para cumplir con las especificaciones técnicas deseadas.

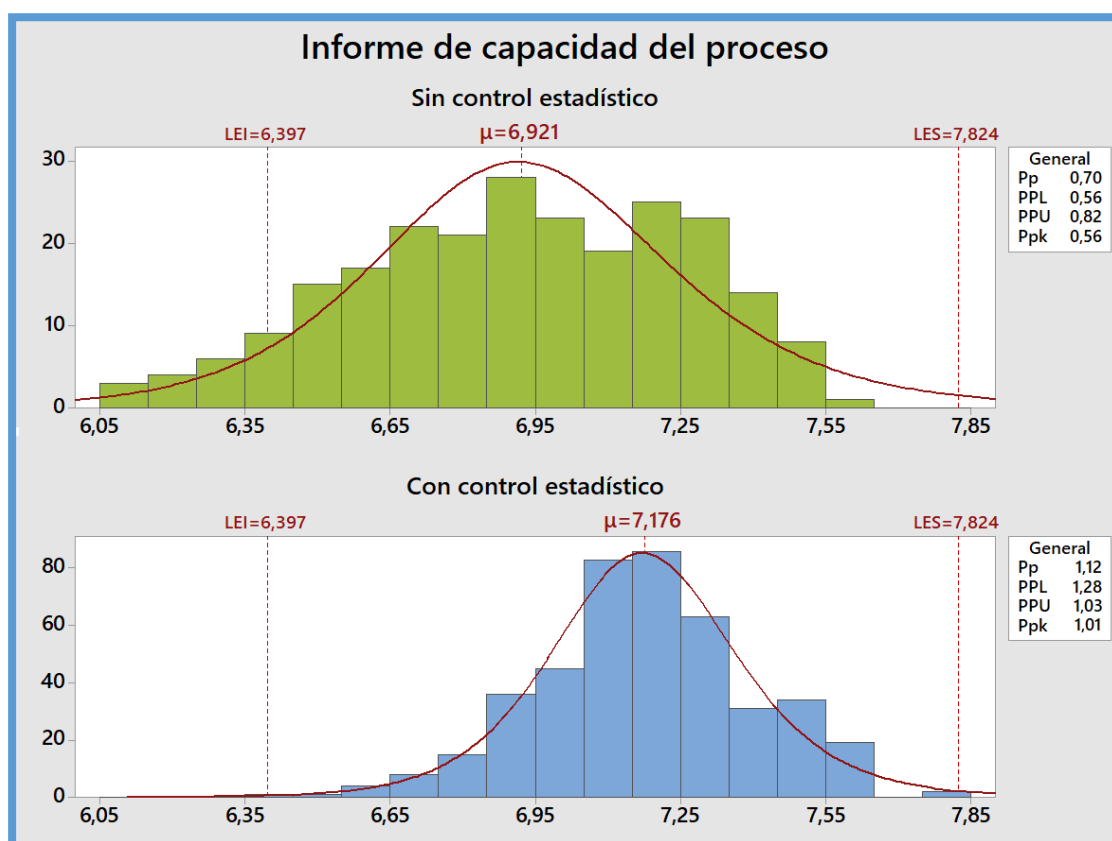
Cuando la capacidad de un proceso es alta, se dice que el proceso es capaz, cuando se mantiene estable a lo largo del tiempo, se dice que el proceso está bajo control, cuando no ocurre esto se dice que el proceso no es adecuado para el trabajo o requiere de inmediatas modificaciones.

En primer lugar, se ha creído conveniente elaborar la tabla 3.4. que recoge las estadísticas descriptivas más importantes. Se debe recalcar que los datos han sido transformados mediante la distribución loglogística para la elaboración del análisis de capacidad.

**Tabla 3.4.** Estadísticas descriptivas de los datos transformados (Fuente: propia)

Estadísticas descriptivas (Transformadas)	Sin control estadístico	Con control estadístico
<b>N</b>	238	428
<b>Media</b>	6,9214	7,1763
<b>Desv.Est.</b>	0,33772	0,22218
<b>Mínimo</b>	6,0638	6,4135
<b>Máximo</b>	7,5653	7,8360

Asimismo, se pretende realizar una comparativa mediante los índices de capacidad para evaluar la efectividad del seguimiento. En la figura 3.58. constan los histogramas y distribuciones transformadas para los dos períodos del proceso: con y sin control estadístico.


**Figura 3.58.** Informe comparativo de la capacidad del proceso (Fuente: propia)

❖ SIN CONTROL ESTADÍSTICO → **EL PROCESO NO ES CAPAZ**

Tabla 3.5. Clase de proceso según los índices de capacidad (sin control estadístico) (Fuente: propia)

Índice	Valor	Clase de proceso	Decisión
<b>Pp</b>	<b>0,70</b>	3	No adecuado para el trabajo. Requiere un análisis exhaustivo del proceso para alcanzar la calidad satisfactoria.
<b>PPL</b>	<b>0,56</b>	4	No adecuado para el trabajo. Requiere modificaciones serias.
<b>PPU</b>	<b>0,82</b>	3	No adecuado para el trabajo. Requiere un análisis exhaustivo del proceso para alcanzar la calidad satisfactoria.
<b>Ppk</b>	<b>0,56</b>	4	No adecuado para el trabajo. Requiere modificaciones serias.

- ✓ En primer lugar, todos los índices tienen un valor inferior a 1. Por consiguiente, la variación del proceso es mayor a la amplitud de las especificaciones. El proceso NO ES CAPAZ.
- ✓  $Pp > Ppk$  ;  $PPL \neq PPU \rightarrow$  El proceso no se encuentra centrado entre los límites de las especificaciones.
- ✓  $PPL < PPU \rightarrow$  Es más probable que el proceso produzca unidades defectuosas que no satisfagan el LCI establecido. El riesgo a desprendimiento del terminal es muy alto.

❖ CON CONTROL ESTADÍSTICO → **EL PROCESO ES CAPAZ**

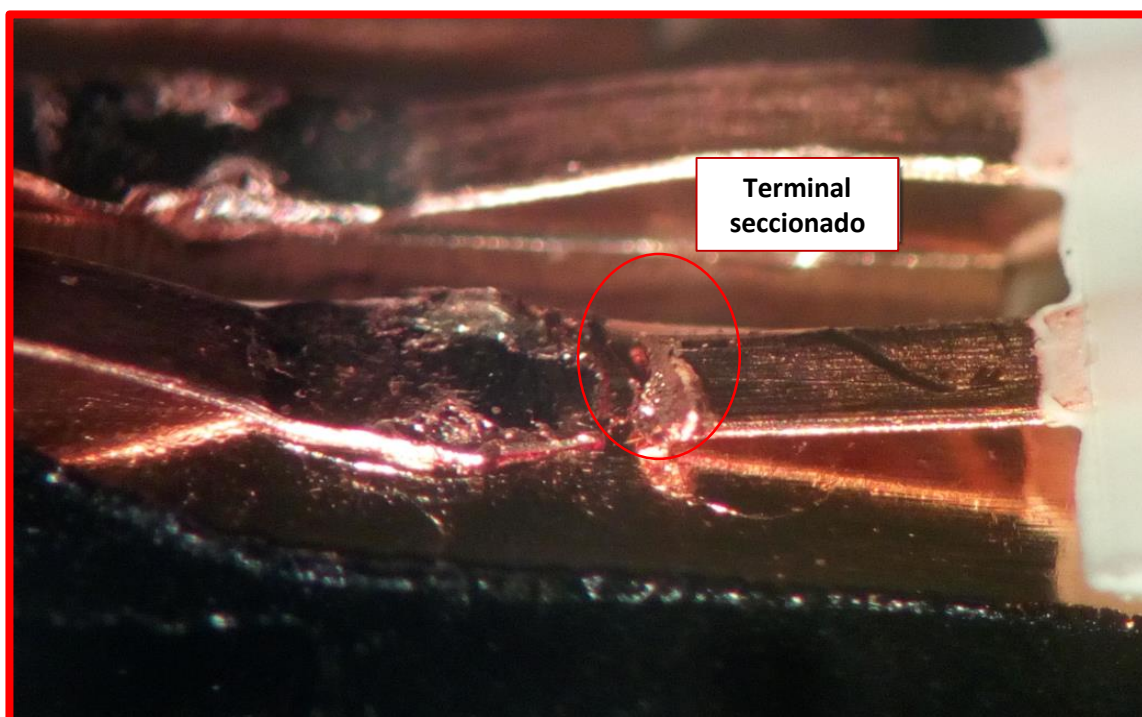
Tabla 3.6. Clase de proceso según los índices de capacidad (con control estadístico) (Fuente: propia)

Índice	Valor	Clase de proceso	Decisión
<b>Pp</b>	<b>1,12</b>	2	Adecuado para el trabajo, pero requiere de un control estadístico conforme el índice se aproxima a uno.
<b>PPL</b>	<b>1,28</b>	2	Adecuado para el trabajo, pero requiere de un control estadístico conforme el índice se aproxima a uno.
<b>PPU</b>	<b>1,03</b>	2	Adecuado para el trabajo, pero requiere de un control estadístico conforme el índice se aproxima a uno.
<b>Ppk</b>	<b>1,01</b>	2	Adecuado para el trabajo, pero requiere de un control estadístico conforme el índice se aproxima a uno.

- ✓ Mediante el control estadístico aplicado, se ha conseguido aumentar todos los índices de capacidad a largo plazo y reducir la variabilidad.
- ✓ El valor de los índices es superior a 1 en todos los casos. Por lo tanto, la amplitud de las especificaciones es mayor a la variación general del proceso. El proceso ES CAPAZ.
- ✓  $Pp > Ppk ; PPL \neq PPU \rightarrow$  El proceso no se encuentra centrado entre los límites de las especificaciones.
- ✓  $PPL > PPU \rightarrow$  Se ha conseguido el propósito inicial del seguimiento: es más probable que el proceso produzca unidades defectuosas que no satisfagan el LCS establecido. Por lo tanto, el proceso ahora es más capaz y la probabilidad de producir terminales cercanos al desprendimiento se ha reducido sustancialmente.
- ✓ El valor del índice **PPL** es muy cercano al valor de referencia de 1,33 marcado por la industria. El proceso de soldadura es potencialmente más que adecuado.

## 4. Aportación de resina dieléctrica

Analizando la causa-raíz de algunos de los incidentes asociados a malas soldaduras, identificamos un fenómeno extraño: algunos de los terminales no habían fusionado bien, por lo que el cable se desprendía produciendo el circuito abierto. Sin embargo, en algunos otros casos, la fusión del terminal era correcta, pero parte del cable había sufrido un cizallamiento.



**Figura 4.1.** Ejemplo de terminal seccionado (Fuente: propia)

Una vez han sido soldados los siete terminales, se realiza una verificación visual para determinar si el resultado es correcto. En caso afirmativo, el pallet avanza hasta el siguiente puesto, dónde se aplica una resina dieléctrica entre los terminales. El propósito de la resina es aislar a los terminales entre sí y reducir la pequeña posibilidad de arco eléctrico.

### Descripción del problema

Sin embargo, después de observar el proceso, advertimos que la aportación de resina no es igual en todos los pallets. De igual manera, en multitud de ocasiones no se respeta el tiempo de secado de la resina por motivos de producción.

Se cree que una aportación insuficiente de resina podría llegar a hacer más vulnerables a los terminales respecto a las fuerzas de cizallamiento o influir negativamente en la funcionalidad eléctrica.

Para intentar solventar el problema, se crea un equipo de trabajo con el departamento de Fiabilidad para estudiar el comportamiento de aportación de resina según el factor de la temperatura externa. La presión durante la aportación se mantiene constante (parámetro fijado por el fabricante). Se cree que, aumentando la temperatura externa, la densidad de la resina dieléctrica disminuirá, facilitando el proceso de aportación.

Asimismo, se observa que durante las primeras horas de la mañana (el turno empieza a las 6AM) la aportación de resina es inferior. La temperatura interior en la planta, a primera hora del día, es más baja. Por consiguiente, el factor temperatura parece influir en la variable a estudiar.

## 4.1. Construcción de la Regresión simple

Las variables de interés en un experimento (las que se miden u observan) se denominan variables de respuesta o dependientes. Otras variables del experimento que afectan la respuesta y que se pueden establecer o medir se denominan variables predictoras, explicativas o independientes. Todo el contenido teórico sobre la construcción de la regresión simple ha sido extraído de la referencia (soporte de Minitab [12]).

Un análisis de regresión genera una ecuación para describir la relación estadística entre uno o más predictores y la variable de respuesta y para predecir nuevas observaciones. La regresión lineal generalmente utiliza el método de estimación de mínimos cuadrados ordinarios, del cual se obtiene la ecuación al minimizar la suma de los residuos al cuadrado.

Dado que se pretende relacionar la variable X (temperatura externa) con una respuesta (Y) (aportación de resina), ajustamos un gráfico de regresión simple.

En cuanto al modelo de regresión, se ha optado por el ajuste lineal, ya que se cree que puede ser el más representativo en nuestro objeto de estudio.

Por último, configuramos la prueba con un nivel de significancia del 0,05. El nivel de significancia establece el riesgo que estamos dispuestos a aceptar de concluir que existe una relación entre X y Y, cuando realmente no es así. Fundamentalmente, es útil para mostrar pronósticos en un intervalo de predicción del 95%.

### Interpretación de los resultados clave

Antes de mostrar los resultados de nuestro estudio, conviene concretar qué parámetros nos proporciona Minitab para interpretar los resultados clave de nuestro análisis. La salida clave incluye el valor p, la gráfica de línea ajustada, el R<sup>2</sup> y la gráfica de residuos.



➤ **Paso 1: Determinar si la asociación entre la respuesta y el término es estadísticamente significativa**

Para determinar si la asociación entre la respuesta y cada término incluido en el modelo es estadísticamente significativa, se debe comparar el valor  $p$  del término con el nivel de significancia para evaluar la hipótesis nula. La hipótesis nula es que el coeficiente del término es igual a cero, lo que indica que no hay asociación entre el término y la respuesta. Partimos de la base que no existe relación matemática significativa entre la temperatura y la aportación de resina.

Por lo general, un nivel de significancia (denotado como  $\alpha$  o alfa) de 0.05 funciona adecuadamente. Como se ha comentado anteriormente, un nivel de significancia de 0.05 indica un riesgo de 5% de concluir que existe una asociación cuando no hay una asociación real. Es el margen de error que estamos dispuestos a ceder.

✓ **Valor  $p \leq \alpha$ : La asociación es estadísticamente significativa**

Si el valor  $p$  es menor que o igual al nivel de significancia, se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre la variable de respuesta y el término. Si ajustamos un modelo cuadrático o cúbico y los términos cuadráticos o cúbicos son significativos, se puede concluir que los datos contienen curvatura. En nuestro caso, usaremos un ajuste lineal.

✓ **Valor  $p > \alpha$ : La asociación no es estadísticamente significativa**

Si el valor  $p$  es mayor que el nivel de significancia, no se puede concluir que existe una asociación estadísticamente significativa entre la variable de respuesta y el término.

El resultado clave, por lo tanto, es el valor  $p$ . Si el valor  $p$  es menor que  $\alpha$ , se puede concluir que existe una relación, con un nivel de riesgo aceptable. Sin embargo, si el valor  $p$  se encuentra razonablemente cerca de  $\alpha$ , se podría considerar como evidencia marginal de una relación que podría merecer una exploración adicional, quizás con una muestra de mayor tamaño.

➤ **Paso 2: Determinar si la línea de regresión se ajusta a los datos**

Es necesario evaluar hasta qué punto el modelo se ajusta a los datos y si el modelo cumple las metas del estudio. Se deben cumplir los siguientes criterios:

- ✓ La muestra contiene un número adecuado de observaciones a lo largo del rango completo de todos los valores predictores.

- ✓ El modelo se ajusta adecuadamente a cualquier curvatura en los datos. Si se ajusta un modelo lineal y se observa una curvatura en los datos, es necesario repetir el análisis y seleccionar el modelo cuadrático o cúbico.
- ✓ Para determinar cuál modelo es mejor, lo más efectivo es examinar la gráfica y las estadísticas de bondad de ajuste. Revisar el valor p de los términos en el modelo para asegurarse de que son estadísticamente significativos y aplicar el conocimiento del proceso para evaluar la significancia práctica. En nuestro caso, los patrones de linealidad entre las variables son claros.
- ✓ Buscar cualquier valor atípico, que pueda tener un efecto fuerte sobre los resultados. Intentar identificar la causa de cualesquiera valores atípicos. Corregir cualquier error de entrada de datos o de medición. Se debe considerar eliminar los valores de datos que estén asociados con eventos anormales y únicos (causas especiales). A continuación, el análisis debe ser repetido.

➤ **Paso 3: Examinar cómo está asociado el término con la respuesta**

Si el valor p del término es significativo, se puede examinar la ecuación de regresión y los coeficientes para entender cómo se relaciona el término con la respuesta.

La ecuación de regresión sirve para describir la relación entre la respuesta y los términos en el modelo. La ecuación de regresión es una representación algebraica de la línea de regresión. La ecuación de regresión para el modelo lineal tiene la forma siguiente:

$$Y = b_0 + b_1x_1 \quad (\text{Ec. 4.1})$$

En la ecuación de regresión, Y es la variable de respuesta (en nuestro caso, la aportación de resina),  $b_0$  es la constante o intersección,  $b_1$  es el coeficiente estimado para el término lineal (también denominado como pendiente de línea) y  $x_1$  es el valor del término (temperatura).

El coeficiente del término representa el cambio en la respuesta media para un cambio de una unidad en ese término. El signo del coeficiente indica la dirección de la relación entre el término y la respuesta. Si el coeficiente es negativo, a medida que la temperatura aumenta, el valor medio de la aportación disminuye. Si el coeficiente es positivo, a medida que el término T aumenta, el valor medio de la respuesta A se incrementa.

Los coeficientes de regresión representan los cambios medios en la variable de respuesta para una unidad de cambio en la variable predictor, mientras se mantienen constantes los otros predictores en el modelo. Este control estadístico que proporciona la regresión es importante porque aísla el papel de una variable de todas las otras del modelo.

➤ **Paso 4: Determinar qué tan bien se ajusta el modelo a los datos**

Para determinar qué tan bien se ajusta el modelo a los datos, es necesario examinar los estadísticos de bondad de ajuste.

✓ **R-cuad.**

A grandes rasgos, el  $R^2$  es el porcentaje de variación en la respuesta que es explicada por el modelo. Mientras mayor sea el valor de  $R^2$ , mejor se ajustará el modelo a los datos. El  $R^2$  siempre está entre 0% y 100%.

✓ **R-cuad. (ajust)**

El  $R^2$  ajustado es efectivo cuando se desea comparar modelos que tengan diferentes números de predictores (variables independientes). El  $R^2$  siempre aumenta cuando se agrega un predictor al modelo, incluso cuando no haya una mejora real en el modelo. El valor de  $R^2$  ajustado incorpora el número de predictores del modelo para ayudar a elegir el modelo correcto. En nuestro caso, al sólo tener una variable independiente (Temperatura externa), no nos será de gran ayuda.

Es importante considerar lo siguiente al interpretar valores de  $R^2$ :

- Las muestras pequeñas no proporcionan una estimación precisa de la fuerza de la relación entre la respuesta y los predictores. Si se necesita que el  $R^2$  sea más preciso, se debe utilizar una muestra más grande (generalmente, 40 o más).
- El  $R^2$  es solo una medida de qué tan bien el modelo se ajusta a los datos. Incluso cuando un modelo tenga un  $R^2$  alto, se deben revisar las gráficas de residuos para verificar que el modelo cumpla con los supuestos del modelo.

✓ **Grado de correlación**

El grado de correlación, también llamado coeficiente Pearson, sirve para examinar la relación lineal (fuerza y dirección) entre dos variables continuas.

**Fuerza**

El valor del coeficiente de correlación puede variar de  $-1$  a  $+1$ . Mientras mayor sea el valor absoluto del coeficiente, más fuerte será la relación entre las variables. Para la correlación de Pearson, un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

## Dirección

El signo del coeficiente indica la dirección de la relación. Si ambas variables tienden a aumentar o disminuir a la vez, el coeficiente es positivo y la línea que representa la correlación forma una pendiente hacia arriba. Si una variable tiende a incrementarse mientras la otra disminuye, el coeficiente es negativo y la línea que representa la correlación forma una pendiente hacia abajo.

- ✓ Nunca se debe concluir que los cambios en una variable causan cambios en otra basándose solamente en la correlación. Solo los experimentos controlados adecuadamente permiten determinar si una relación es causal.
- ✓ Un coeficiente de correlación de Pearson bajo no significa que no exista relación entre las variables. Las variables pueden tener una relación no lineal.

### ➤ Paso 5: Determinar si el modelo cumple con los supuestos del análisis

Se deben utilizar las gráficas de residuos como ayuda para determinar si el modelo es adecuado y cumple con los supuestos del análisis. Si los supuestos no se cumplen, el modelo podría no ajustarse adecuadamente a los datos y se debería tener cuidado al interpretar los resultados.

## Gráfica de residuos vs. ajustes

Sirven para verificar el supuesto de que los residuos están distribuidos aleatoriamente y tienen una varianza constante. Lo ideal es que los puntos se ubiquen aleatoriamente a ambos lados del 0, con patrones no detectables en los puntos.

Los patrones que se observan en la figura 4.2. podrían indicar que el modelo no cumple con los supuestos del modelo.

Patrón	Lo que podría indicar el patrón
Dispersión en abanico o irregular de los residuos en los valores ajustados	Varianza no constante
Curvilíneo	Un término de orden superior faltante
Un punto que está alejado de cero	Un valor atípico
Un punto que está lejos de los otros puntos en la dirección x	Un punto influyente

**Figura 4.2.** Indicadores de patrones en los datos (Fuente: [12])

## 4.2. Regresión aportación vs. temperatura

Una vez se han definido todos estos puntos importantes para una correcta interpretación de los resultados clave, en la figura 4.3., se muestra un informe resumen de nuestro estudio:

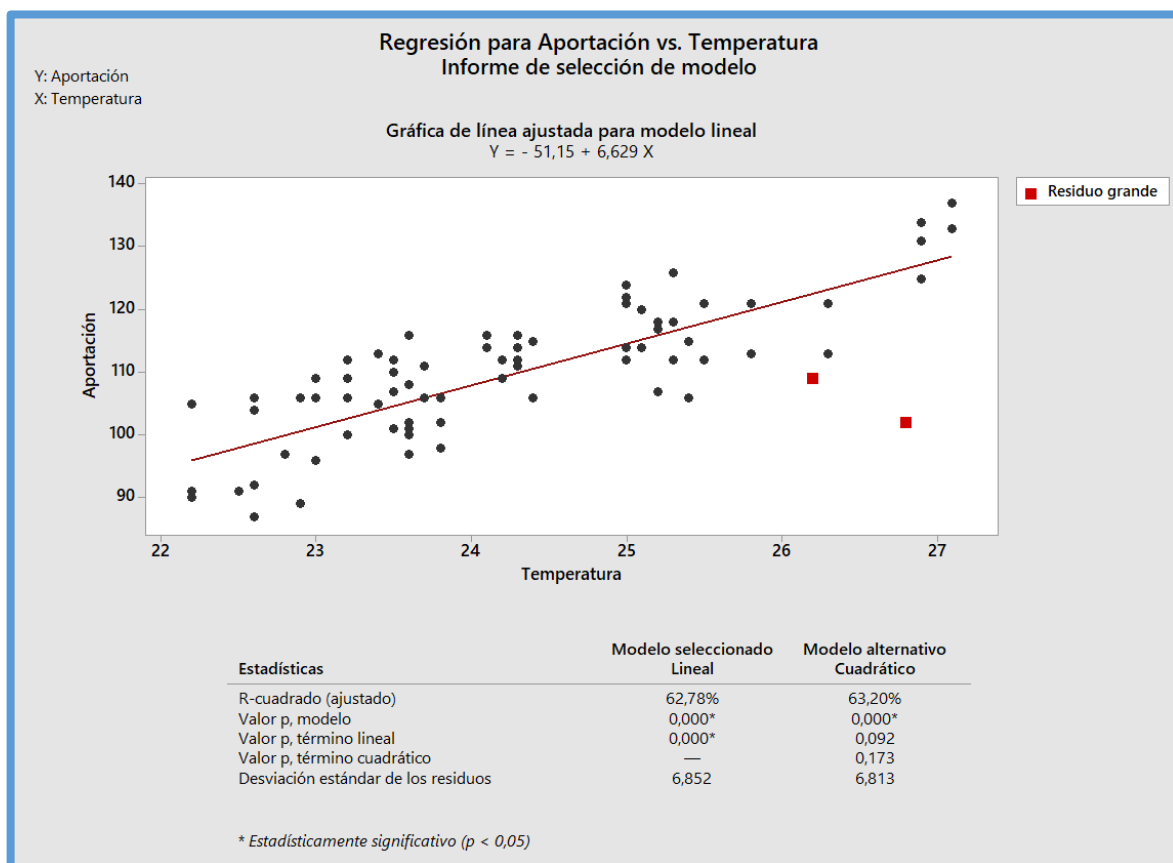


Figura 4.3. Regresión entre aportación de resina y temperatura (Fuente: propia)

### Interpretación de los resultados clave

- **Paso 1: Determinar si la asociación entre la respuesta y el término es estadísticamente significativa**

Dado que el valor p es menor al nivel de significancia, se puede concluir que hay una asociación estadísticamente significativa entre la aportación de resina y la temperatura.

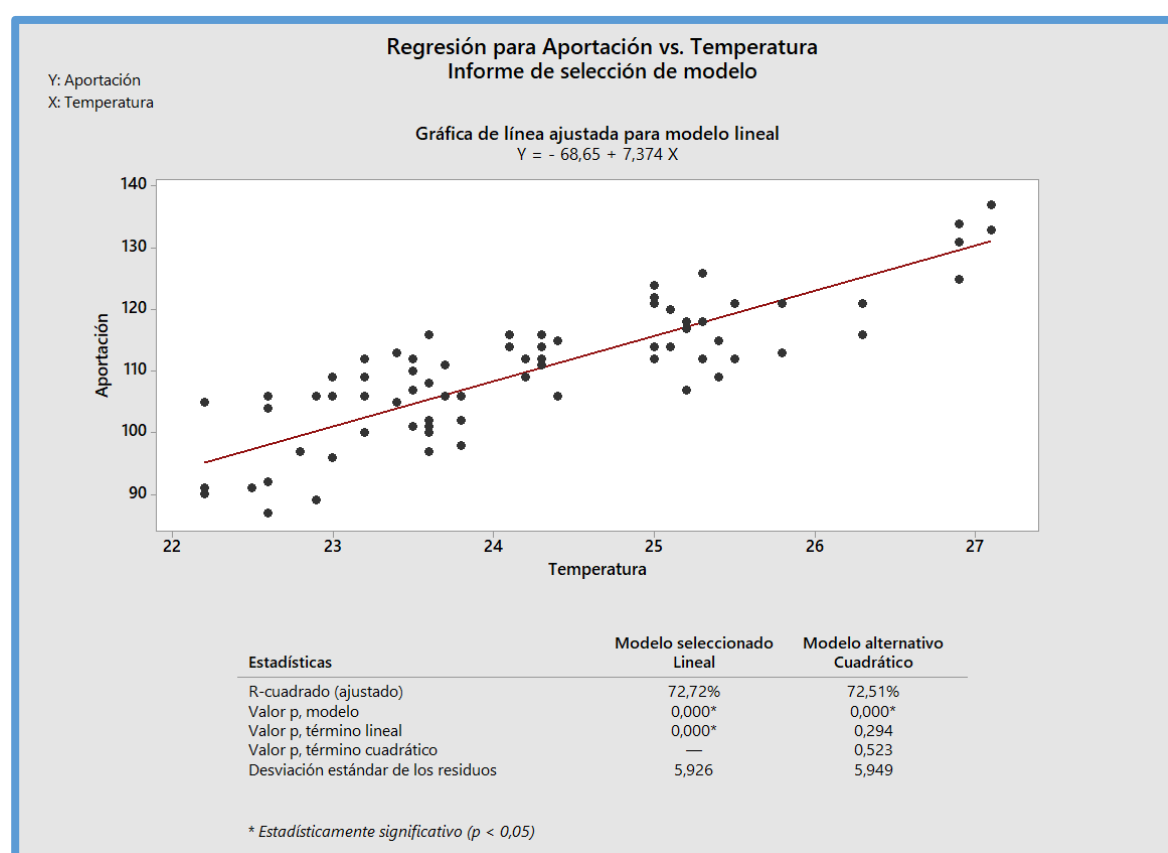
- **Paso 2: Determinar si la línea de regresión se ajusta a los datos**

Antes de ahondar en un análisis exhaustivo, se pueden encontrar dos residuos grandes o valores atípicos. Estos, como ya se ha explicado con anterioridad, pueden tener un efecto fuerte sobre el resultado final.

Si se observa la gráfica de línea ajustada, ambos residuos tienen una característica en común. Tienen valores de Temperatura atípicamente altos en relación con la Aportación de resina realizada.

Tratando de identificar la causa de estos valores atípicos, sospechamos directamente en los posibles errores de medición. El instrumento usado para medir la Temperatura fue un termómetro digital. Quizás en el momento de recolectar los datos tocamos involuntariamente el aparejo, introduciendo así ciertas perturbaciones (errores) en las mediciones.

Consideramos oportuno eliminar los valores de datos que están asociados con estos eventos anormales para, a continuación, repetir el análisis la sin influencia de causas especiales. El resultado puede observarse en la figura 4.4.



**Figura 4.4.** Regresión entre aportación de resina y temperatura sin valores atípicos (Fuente: propia)

### Interpretación de los resultados clave

- **Paso 1: Determinar si la asociación entre la respuesta y el término es estadísticamente significativa**

Dado que el valor p es menor al nivel de significancia, se puede concluir que, de nuevo, hay una asociación estadísticamente significativa entre la aportación de resina y la temperatura.

Un p-valor bajo sugiere que la pendiente de la recta no es cero, lo que a su vez apunta que los cambios en la variable predictor están asociados con cambios en la variable de respuesta.

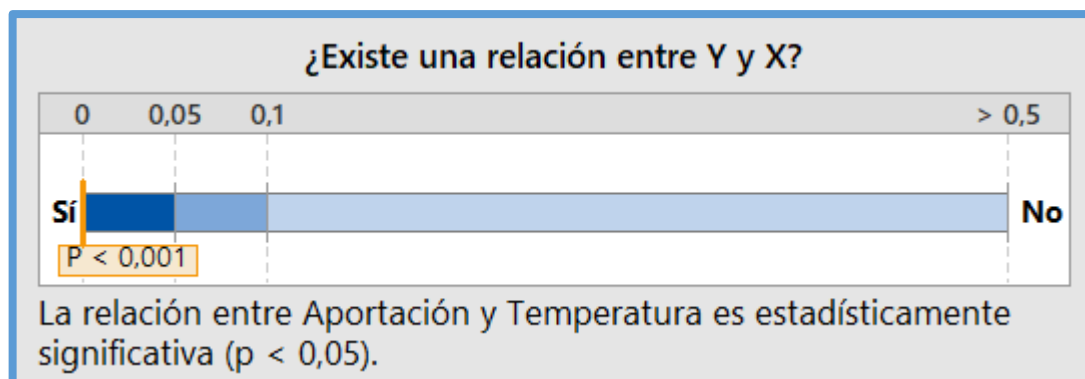


Figura 4.5. Grado de relación entre aportación y temperatura (Fuente: propia)

➤ **Paso 2: Determinar si la línea de regresión se ajusta a los datos**

- ✓ Nuestra muestra es lo suficientemente grande ( $n=78$ ) para obtener una estimación precisa de la fuerza de la relación.
- ✓ El modelo de ajuste lineal cubre adecuadamente el rango de valores de Temperatura. No se observa curvatura en los datos, por lo tanto, el modelo usado es el correcto.

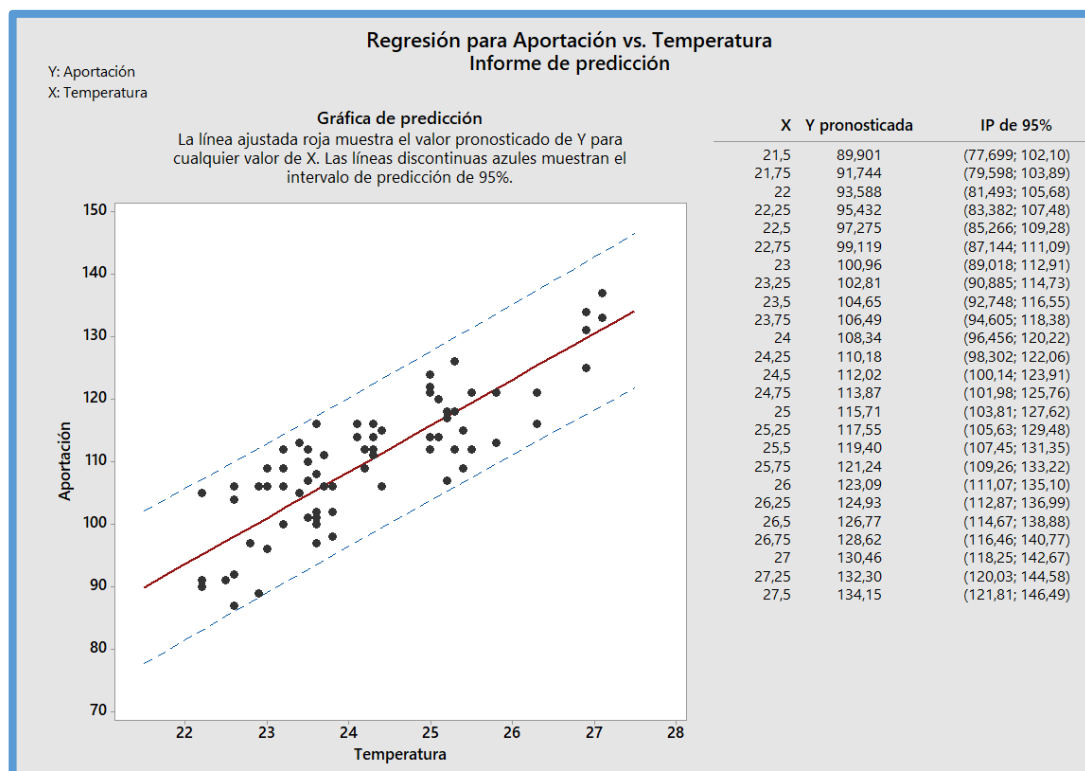


Figura 4.6. Regresión con líneas de predicción (Fuente: propia)

En la figura 4.6., la línea roja muestra el valor pronosticado de Y para cualquier valor de X. Las líneas discontinuas azules muestran el intervalo de predicción del 95%. Como puede observarse en la misma figura 4.6., todos los puntos entran dentro de este intervalo.

Además, los puntos generalmente siguen la línea de regresión. Cubren adecuadamente todo el rango de valores de Temperatura y no parece haber ninguna curvatura en los datos. Por lo tanto, la línea de regresión generada se ajusta correctamente a los datos recopilados.

- ✓ Una vez hemos eliminado los valores atípicos comentados con anterioridad, no hay más puntos de datos poco comunes.

➤ **Paso 3: Examinar cómo está asociado el término con la respuesta**

La ecuación ajustada para el modelo lineal que describe la relación entre Y y X es:

$$Y = -68,65 + 7,374 X \quad (\text{Ec. 4.2})$$

$$\text{Aportación} = -68,65 + 7,374 * \text{Temperatura} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Como el modelo se ajusta adecuadamente a los datos, esta ecuación se puede utilizar para predecir Aportación para un valor de Temperatura, o hallar la configuración de Temperatura que corresponda a un valor o rango de valores deseados para Aportación.

*Nota: una relación estadísticamente significativa no implica que X sea la causa de Y.*

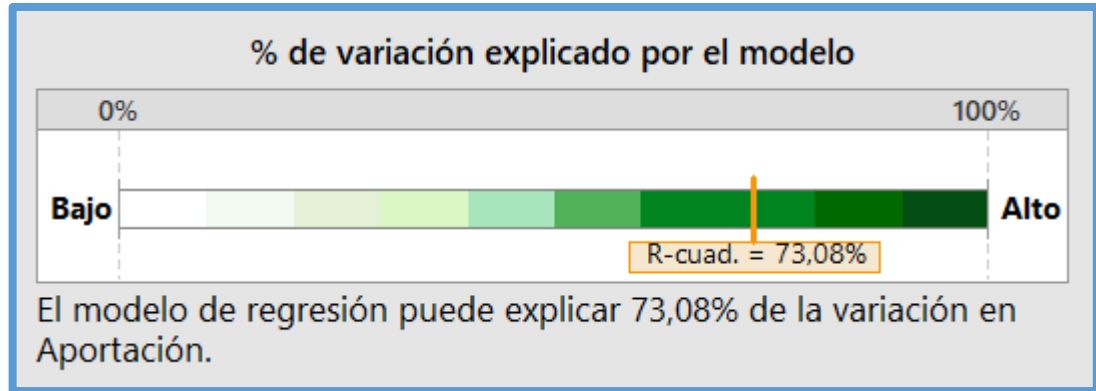
En estos resultados, el coeficiente del predictor, Temperatura, es 7,374. Por consiguiente, la Aportación de resina promedio aumenta en aproximadamente 7,4 por cada incremento de 1 unidad en la Temperatura. A su vez, el signo del coeficiente es positivo, lo que indica que conforme aumenta la Temperatura, también aumenta la Aportación. En otras palabras, son directamente proporcionales.

➤ **Paso 4: Determinar qué tan bien se ajusta el modelo a los datos**

- ✓ **R-cuad.**

En nuestro estudio, cuyo resultado puede observarse en la figura 4.7., la Temperatura externa explica el 73,08% de la variación en la Aportación de resina dieléctrica. Por lo tanto, la influencia de la temperatura externa en la que se encuentre el aplicador de resina es muy alta. el valor de  $R^2$  indica que el modelo ajusta adecuadamente a los datos.

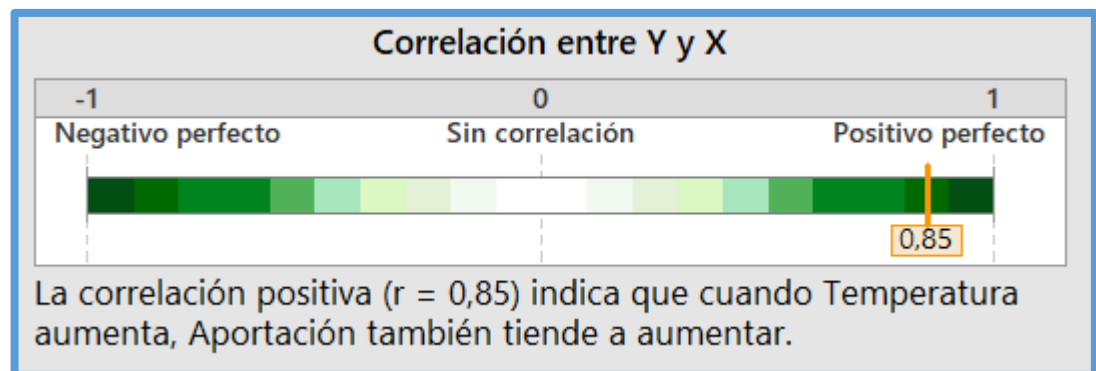




**Figura 4.7.** Porcentaje de acierto del modelo de regresión (Fuente: propia)

✓ **Grado de correlación.**

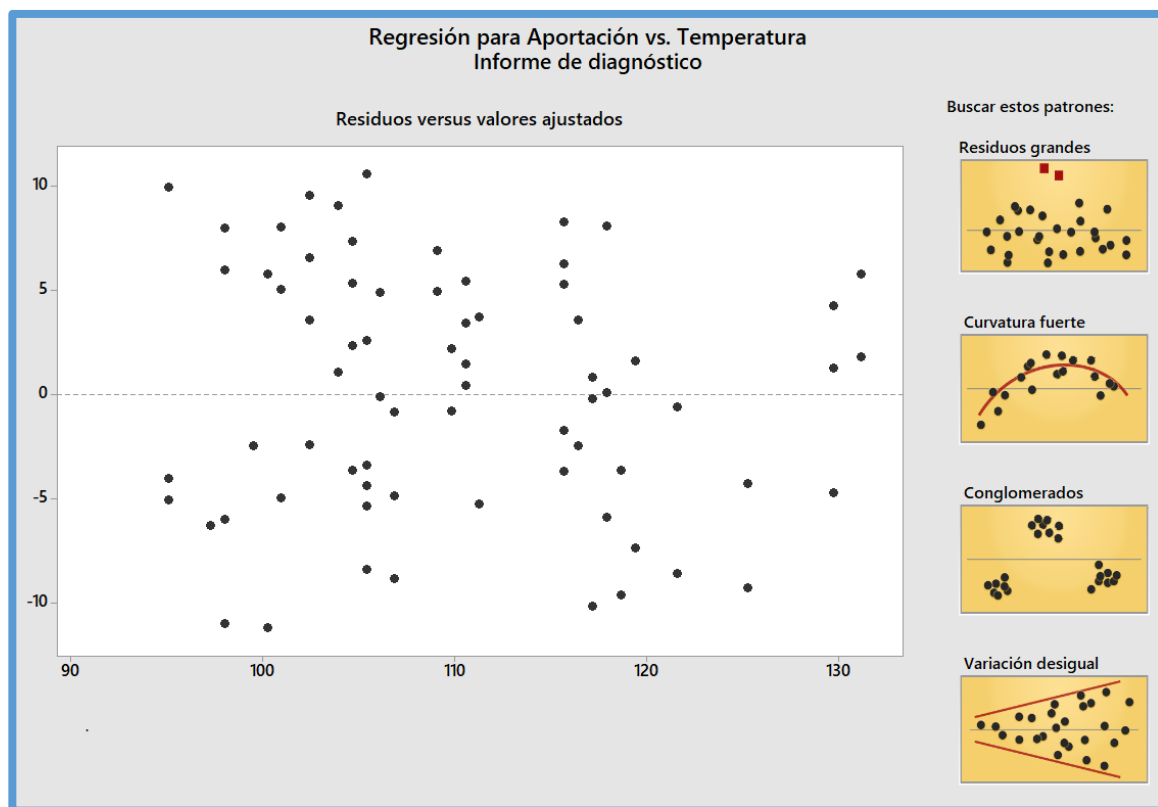
El factor Temperatura y Aportación están correlacionados con tendencia positiva, es decir, si la temperatura externa aumenta, la aportación también lo hace, al hacer que la resina sea menos densa. El coeficiente Pearson es de  $r = 0,85$ , luego la fuerza entre variables es fuerte. La correlación de ambas es del 85%, como puede observarse en la figura 4.8.



**Figura 4.8.** Grado de correlación entre aportación y temperatura (Fuente: propia)

➤ **Paso 5: Determinar si el modelo cumple con los supuestos del análisis**

Como se puede observar en la figura 4.9. de residuos vs. ajustes, los residuos están distribuidos aleatoriamente y tienen una varianza constante. Los puntos se ubican aleatoriamente a ambos lados del 0, sin patrones detectables. El modelo, por tanto, es adecuado.



**Figura 4.9.** Gráfico de residuos versus valores ajustados para buscar patrones en los datos (Fuente: propia)

### 4.3. Conclusiones del estudio:

Confirmamos estadísticamente la hipótesis inicial de partida:

Aumentando la temperatura externa en la que se encuentra el aplicador, la densidad de la resina dieléctrica disminuye, facilitando el proceso de Aportación. La relación lineal positiva entre ambas variables es fuerte.

Para intentar mitigar el problema de temperatura baja durante las primeras horas de la mañana, se compra una lámpara ultravioleta para acelerar el proceso de secado y, a su vez, aumentar la temperatura externa o mantenerla constante.

Desde que se aplica la mejora, el resultado final de la soldadura mejora. Se mantienen más constantes las condiciones de aplicación de la resina, reduciendo la variabilidad del proceso.

## 5. Calidad Producción

Hasta mediados/finales de abril, he estado trabajando en el departamento de Calidad Cliente (o Customer Satisfaction). Una de las tareas principales era analizar las piezas rechazadas por el cliente y decidir las acciones permanentes, correctivas y preventivas con todo el equipo, aplicando las herramientas de mejora continua. El seguimiento interno sobre la soldadura del by-pass, por ejemplo, se llevó a cabo durante este período de tiempo.

Sin embargo, a partir de mayo también empecé a trabajar en Calidad Producción. La experiencia laboral que me ha aportado no tiene precio, puesto que me ha permitido comprobar cómo es la gestión de calidad desde diferentes perspectivas simultáneamente.

El objetivo común del departamento de Calidad ya sea Cliente o Producción, es siempre mejorar la calidad del producto y reducir las no conformidades. Para ello, es necesario lograr reducir la ratio de piezas defectuosas respecto al total de piezas producidas. La unidad de dicha ratio son las Partes por millón o PPM's de producción. Cuánto más bajos sean los PPM, mayor será la efectividad de nuestra línea de producción. Si producimos mejor, nos llegarán menos incidentes de cliente.

Para la elaboración de reports técnicos sobre incidentes, uno tiene que asegurarse que las respuestas al cliente son las apropiadas. Para ello, se deben analizar las piezas de los incidentes siguiendo una metodología muy meticulosa.

La Calidad Producción es, en cambio, menos “minuciosa” que la Cliente, ya que se trabaja con un volumen mucho mayor de piezas. El propósito diario es claro: asegurar la calidad en la línea. Por ello, las relaciones con proveedor son sumamente importantes, ya que es fundamental que nos garanticen la calidad del producto que le compramos.

Por otra parte, también tiene otra componente de análisis de datos más exhaustivo. Tanto las piezas verificadas totales como la aparición de defectos de distinto tipo, son registrados en la base de datos *First Time Quality Data Base* (FTQ).

Utilizando tanto las observaciones de las piezas NOK procedentes de la línea de montaje, como los diagramas de Pareto elaborados a partir de la FTQ, se pueden detectar anomalías en el proceso de producción.

Un ejemplo claro de anomalía sería un goteo diario constante de un defecto concreto en uno de tus productos. Durante la jornada, sólo se atiende a la necesidad más inmediata, en paliar el defecto más recurrente. Sin embargo, este goteo diario puede suponer un PPM excesivamente alto a final de mes. Los diagramas de Pareto son muy útiles para identificar este tipo de eventos.

La metodología a seguir es generalmente la misma. En cierta manera, es un ciclo PDCA pero en pequeña escala:

1. Identificación de un defecto con unos PPM asociados anormalmente altos. (PLAN)
2. Muestreo aleatorio para descubrir la causa-raíz del problema. *¿Se cumplen las especificaciones de cliente?* (DO)
3. Aplicación de acciones permanentes, correctivas y/o preventivas para erradicar las no conformidades y mejorar el proceso. (CHECK)
4. Comprobación de las modificaciones correctivas aplicadas mediante el seguimiento de TRIALS en línea. (ACT)

## 5.1. Diagramas de Pareto

El Diagrama de Pareto constituye un método de análisis gráfico que permite identificar los defectos más frecuentes y/o las causas más comunes de los defectos, entre otras cosas. Por ende, es una herramienta sumamente útil para la mejora continua.

Asimismo, sirven para discriminar entre las causas de mayor relevancia (con mucho impacto) de las causas más triviales (con un impacto menor). Por consiguiente, pueden ayudar a concentrar los esfuerzos de mejoramiento en aquellas áreas en las que se puedan obtener las mayores ganancias. Es una herramienta estadística muy intuitiva y robusta.

Las ventajas del uso de Diagramas de Pareto pueden resumirse en:

- ✓ Permite centrarse en los aspectos cuya mejora tendrá más impacto, optimizando los esfuerzos y enfocándonos en reducir los defectos con unos PPM asociados más altos.
- ✓ Proporciona una visión simple y rápida de la importancia relativa de los problemas.
- ✓ Ayuda a evitar que se empeoren algunas causas al tratar de solucionar otras.
- ✓ Su visión gráfica del análisis es fácil de comprender y estimula al equipo para continuar con la mejora.
- ✓ Permite identificar eventos anormales de difícil detección para los supervisores de Calidad en la Línea.

## Interpretar los resultados clave para la Diagrama de Pareto

Antes de adentrarnos más en la materia, sería conveniente explicar los conceptos clave para la interpretación de los diagramas de Pareto. Todo el contenido teórico sobre la construcción de los diagramas de Pareto ha sido extraído de la referencia (soporte de Minitab [12]).

### ➤ **Paso 1:** Examinar el orden de las barras

Un diagrama de Pareto es una gráfica de barras en la cual las barras se ordenan de la frecuencia de ocurrencias más alta a la frecuencia de ocurrencias más baja. Sirve para jerarquizar los defectos de mayor a menor, de forma que se puedan priorizar los esfuerzos en cuanto a mejora de la calidad.

Después que se categoriza un porcentaje especificado de los defectuosos, generalmente 95% del acumulado, Minitab combina los defectos restantes en un grupo llamado "Otros". La categoría Otros siempre se muestra como la última barra, incluso si tiene un conteo mayor que el de las categorías anteriores.

*Resultados clave: Conteos, porcentaje*

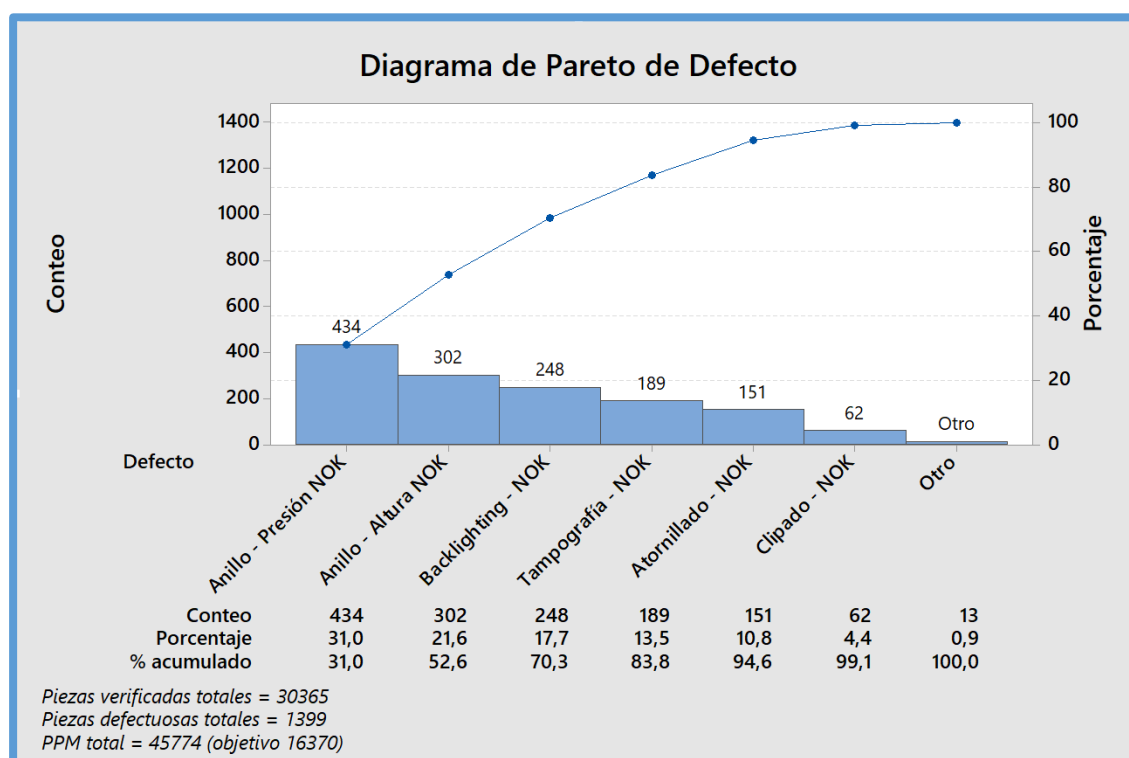
### ➤ **Paso 2:** Examinar la línea de porcentaje acumulado

La línea de porcentaje acumulado comienza en la primera barra (la más alta) y se extiende hasta la última barra para ayudar a evaluar la contribución agregada de cada categoría. Si, por ejemplo, con los dos defectos más recurrentes, ya se acumula un 85% de las piezas defectuosas totales, bastaría con centrarnos en esos dos para reducir sustancialmente los PPM totales.

*Resultados clave: % acum*

## 5.2. Informe mensual de producción – Junio 2018

Para realizar el informe mensual de la producción, usamos todos los datos ingresados a diario en la base de datos FTQ. En estos informes estudiamos la producción de todos los productos simultáneamente. Generalmente, nos centramos únicamente en el top 5 de defectos, de mayor impacto y relevancia que el resto. El objetivo es obvio: mejorar continuamente nuestros procesos de producción. Los defectos más recurrentes del mes de junio se encuentran recopilados en la figura 5.1.:



**Figura 5.1.** Informe mensual de producción. Diagrama de Pareto (Fuente: propia)

En primer lugar, en el eje de vertical tenemos el conteo o frecuencia de los defectos. En el eje horizontal, en cambio, tenemos cada defecto concreto con el número total de piezas NOK asociadas. Además del conteo, el diagrama también nos proporciona el porcentaje individual de ese defecto respecto al total y el porcentaje acumulado.

Por otro lado, la primera traza de cómo se ha producido este mes nos la proporciona los PPM totales. Como puede observarse en la parte inferior del gráfico, se han verificado un total de 30563 piezas, de las cuales 1399 han resultado ser no conformes por alguna razón. Para efectuar el cálculo de la ratio de los PPM se debe hacer lo siguiente:

$$PPM_{\text{totales}} = \frac{n^{\circ} \text{ total de piezas defectuosas}}{n^{\circ} \text{ total de piezas verificadas}} \times 10^6 = \frac{1399}{30563} \times 10^6 = 45774 \quad (\text{Ec. 5.1})$$

Además de los PPM totales, también se pueden calcular los PPM individuales para cada defecto concreto de todos los productos. En el caso de junio, los PPM totales son de 45774. Es un número excesivamente alto, teniendo en cuenta que nuestro target mensual es de 16370.

*Nota: el target mensual está establecido por la normativa IATF. Es la especificación técnica concreta de la ISO para la industria del automóvil. Sirve principalmente para desarrollar un sistema de gestión de*

*calidad con el objetivo de una mejora continua, enfatizando en la prevención de errores y en la reducción de desechos de la fase de producción.*

Del diagrama de Pareto anterior puede extraerse la siguiente información:

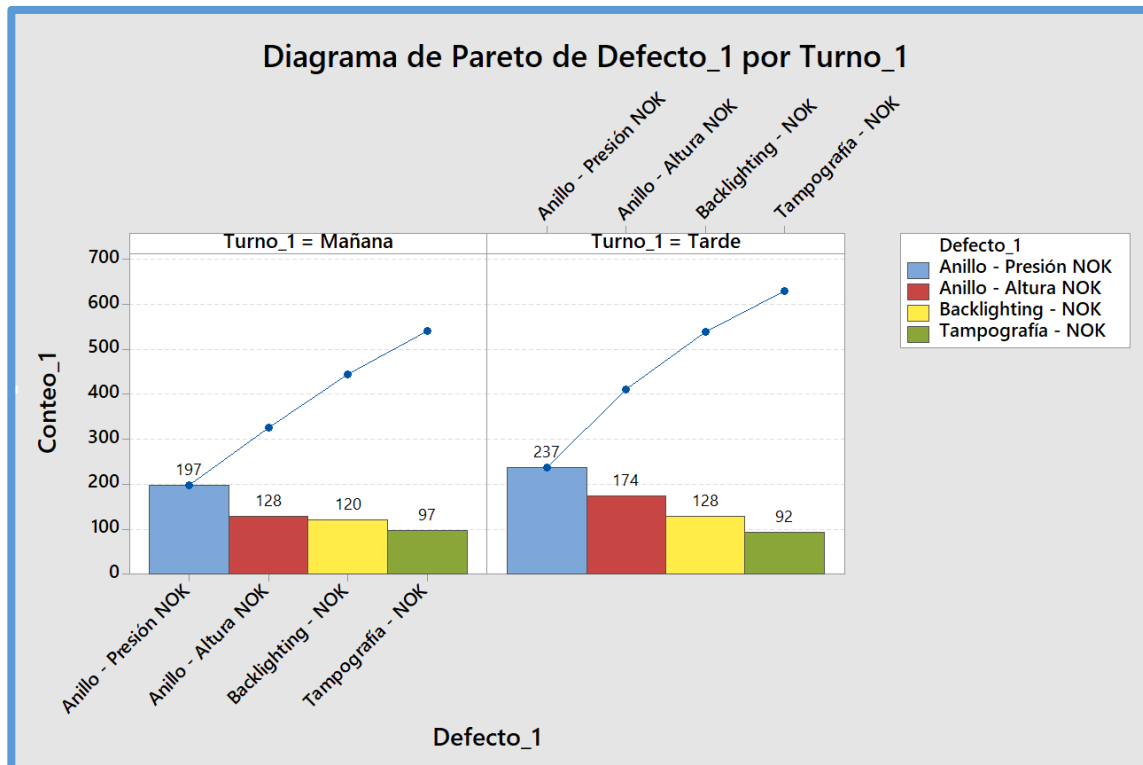
- Los seis primeros defectos más recurrentes suman un 99,1% del total de los defectos. En el 0,9% restante se agrupan el resto de los defectos en la categoría “Otro”.

*Nota: En total, para cada producto tenemos aproximadamente 5 estaciones en la línea. En cada estación de trabajo, pueden surgir 30 defectos o más. Pueden ser defectos visuales, mecánicos, eléctricos, etc.*

- Los dos primeros defectos están asociados al llamado anillo o ring de la línea de montaje de las manetas limpiaparabrisas de DUCATO. Como puede observarse, la presión NOK del anillo constituye el 31% de los defectos totales. De 1399 piezas defectuosas, 434 han sido rechazadas por este problema. Junto con el segundo defecto más recurrente, el de altura NOK del mismo anillo, sumamos el 52,6% del total acumulado de defectos. Por lo tanto, tan sólo centrándonos en reducir estos dos problemas ya lograríamos reducir los PPM sustancialmente.
- A pesar de que se ha evidenciado donde deben recaer la mayor parte de nuestros esfuerzos, el resto de los defectos suman un total del 47,4% de defectos totales. Por lo tanto, no pueden ser ignorados.
- Nos centraremos en los cinco defectos más recurrentes, que constituyen el 94,6% de esas 1399 piezas NOK.

*Nota: Más adelante, se explicará la metodología que se ha seguido para intentar reducir los PPM de cada defecto, analizando la causa-raíz, aplicando acciones correctivas y comprobando que las modificaciones son efectivas.*

Asimismo, también se ha creado otro diagrama de Pareto usando los mismos datos, pero esta vez agrupándolos mediante la variable categórica de Turno, ya sea de mañana o tarde. El objetivo es comprobar si existe algún tipo de patrón o irregularidad entre las dos franjas horarias, entre otras cosas. El resultado puede observarse en la figura 5.2.



**Figura 5.2.** Diagrama de Pareto separado en turnos (Fuente: propia)

- En general, producimos peor durante el turno de tarde. Esto se debe, al menos en parte, a que por la tarde sólo hay un auditor (supervisor) de calidad línea.
- En cuanto a los defectos asociados con el anillo de DUCATO, por la tarde son más altos: *Antes de montar el anillo en la maneta, el ring es engrasado manualmente por la operaria. Se encaja en una cavidad y varios puntos en el interior son engrasados de forma automática. Durante este procedimiento, existe algún riesgo que los contactos internos sean ligeramente chafados y pierdan altura, provocando un mal contacto. Por lo tanto, existe un porcentaje de riesgo de error humano. A pesar de que la mayor parte del problema se deba a la calibración de la estación, la operaria de tarde debería ser informada.*

A continuación, se procederá a realizar estudios estadísticos de los seis defectos más recurrentes del mes de junio. El propósito de aplicar herramientas para el control de calidad es identificar las causas-raíces que provocan los defectos, reduciendo al máximo las piezas NOK y mejorando continuamente los procesos de producción. Además, también sirven para comprobar objetivamente la eficacia de las posibles acciones correctivas aplicadas.



### 5.2.1. Presión y Altura NOK - Anillo de la maneta DUCATO

Como ya se ha comentado con anterioridad, los dos primeros defectos más recurrentes están asociados al ring de la maneta de DUCATO. En total, constituyen el 52,6% del porcentaje acumulado de defectos. La suma asciende a las 736 piezas NOK.

La figura 5.3. muestra los planos de cliente, mientras que la figura 5.4. muestra una foto real del anillo de la maneta Ducato.

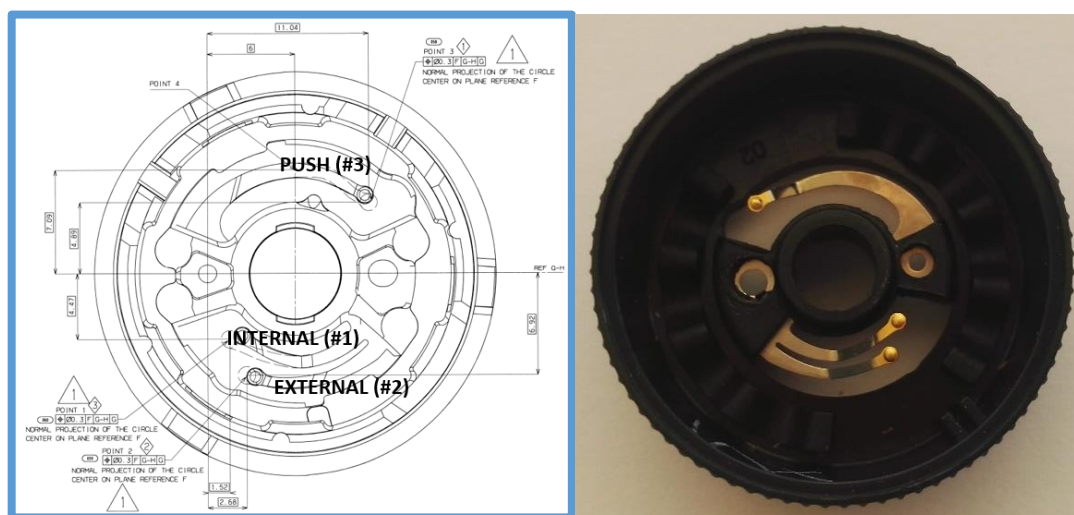


Figura 5.3. y 5.4. Planos y anillo de la maneta de Ducato (Fuente: propia)

Hay un total de tres contactos. La pata interna (#1) y externa (#2) proporcionan continuidad eléctrica para las diferentes funciones de limpiaparabrisas. Según la posición de la pista donde se encuentren dichos contactos, se activará una función concreta. Para la tercera pata, la del push (#3), sólo tiene asociada la función de propulsar agua al ser activada.

Cada contacto tiene establecidas las especificaciones mínimas y máximas de Presión y Altura fijadas por cliente. Si no se cumplen, existe un alto riesgo de que el anillo no funcione correctamente.

#### ***Análisis de la causa-raíz del problema***

Para un análisis exhaustivo del estado actual del ring, se hace un muestreo aleatorio de tamaño 60 en dos días consecutivos. El objetivo es comprobar si estamos cumpliendo con las especificaciones de cliente. Las muestras tomadas son identificadas y avanzan por la línea para descubrir en qué estación se produce el defecto.

Analizando el proceso, nos damos cuenta de que la causa-raíz del problema recae en varios puntos:

- En primer lugar, antes de engrasar ciertos puntos para ser montado en la maneta, el anillo es colocado en una matriz de conformado. Mediante un pistón, la matriz desciende para dar forma y altura a los contactos. A menudo, la matriz no proporciona la suficiente altura a los contactos, provocando una incorrecta continuidad eléctrica.
- Por otro lado, en la estación siguiente, se realiza un engrasado automático. El ring ya conformado es introducido en una cavidad por una operaria. En este procedimiento, existe el riesgo de que, buscando el encaje correcto, los contactos sean chafados y pierdan altura.
- En algunos casos, el anillo es declarado NOK en la estación de montaje sin razón aparente. Por lo tanto, la calibración de la máquina no es del todo correcta.

Mediante los gráficos de dispersión descubriremos el estado actual del proceso. Asimismo, es sabido que la Presión en los contactos es una variable dependiente de la Altura.

#### Día 1 (ante modifco) – Pata externa (#2)

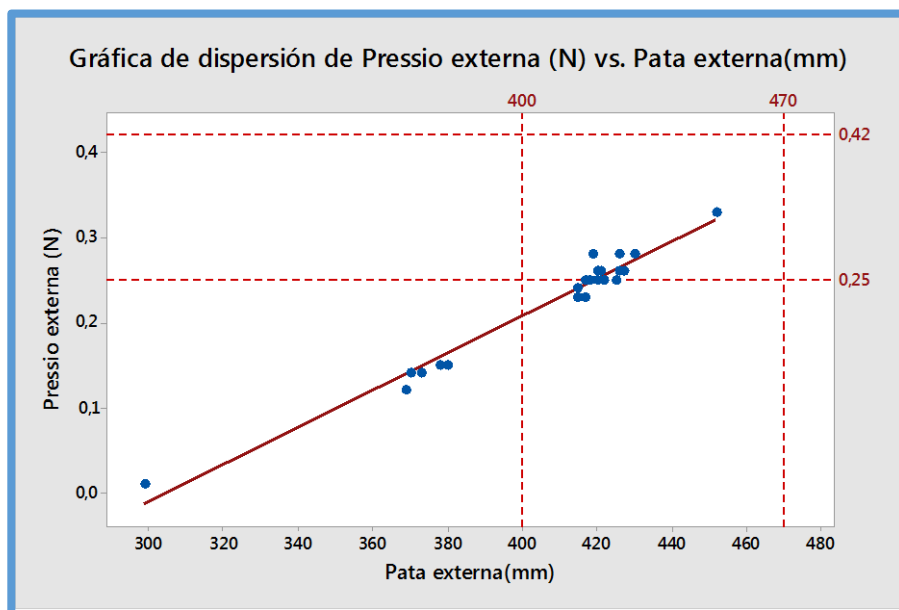


Figura 5.5. Gráfica de dispersión de presión y altura de la pata externa (Fuente: propia)

- ✓ En primer lugar, tal y como puede observarse en la figura 5.5., se han configurado los diagramas para comprobar si cumplimos con las especificaciones de cliente, marcadas con las líneas de referencia rojas.
- ✓ Muchas mediciones no alcanzan los límites mínimos de Altura y Presión. No se cumplen las especificaciones de cliente.
- ✓ Existe una relación lineal positiva fuerte entre Altura y Presión.

### Día 1 (ante modifíco) – Pata interna (#2)

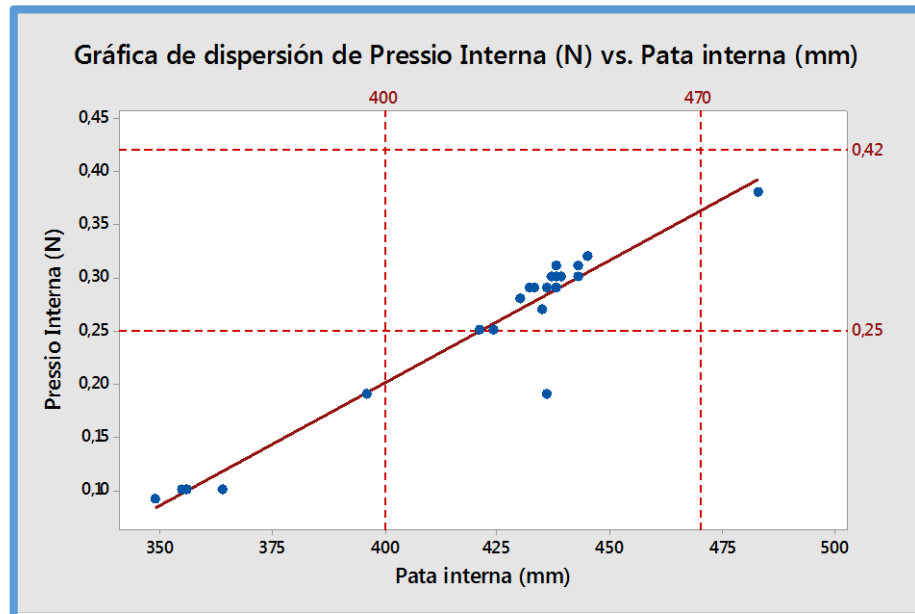


Figura 5.6. Gráfica de dispersión de presión y altura de la pata interna (Fuente: propia)

- ✓ No se alcanzan los límites mínimos de Altura y Presión en muchas mediciones, tal y como puede observarse en la figura 5.6.
- ✓ La dispersión en los resultados es significativamente alta.

### Día 1 (ante modifíco) – Push (#3)

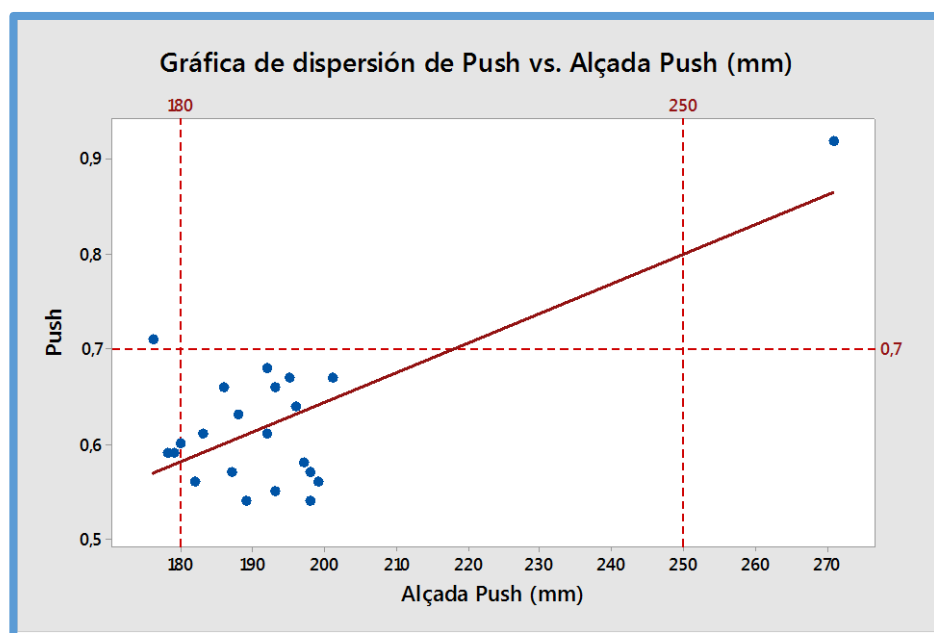


Figura 5.7. Gráfica de dispersión de presión y altura del push (Fuente: propia)

- ✓ Para el contacto del PUSH, ninguna de las muestras cumple con las especificaciones mínimas en cuanto a Presión se refiere, tal y como puede observarse en la figura 5.7.

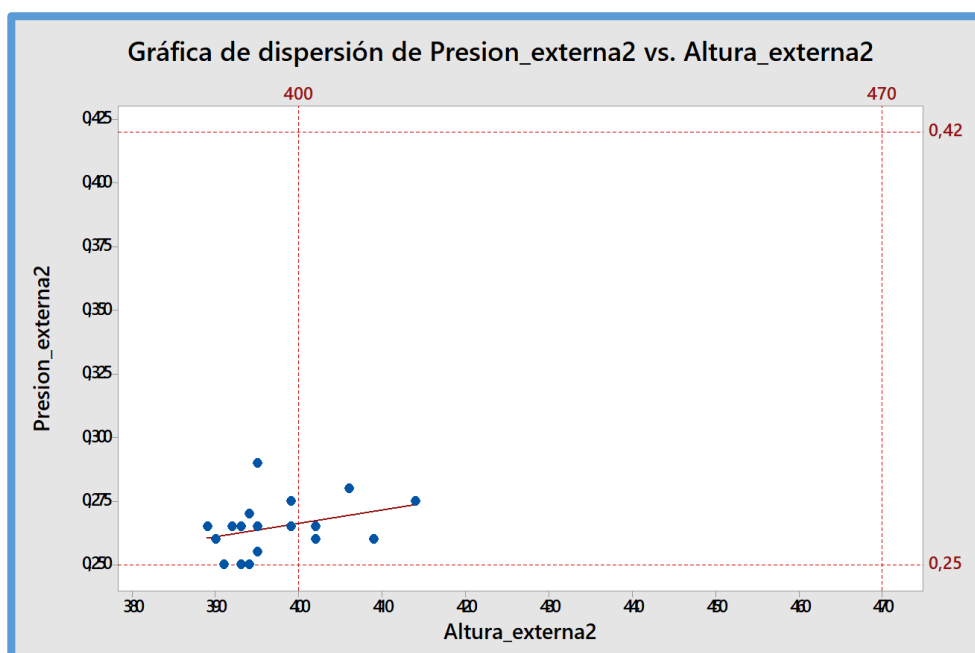
### Conclusión del primer muestreado

El estudio realizado evidencia la necesidad de aplicar acciones correctivas que mejoren el estado actual del proceso. Muchas de las muestras no cumplen las especificaciones mínimas de Altura y Presión en los tres contactos. Sin embargo, en los tres contactos existe una relación lineal positiva entre las dos variables.

Se decide aumentar la Presión que ejerce el pistón al bajar la matriz de conformado. Al incrementar la presión ejercida para dar forma a los contactos, la altura también lo hará.

Se toma un segundo muestreado aleatorio con el objetivo de comprobar la efectividad de la acción correctiva.

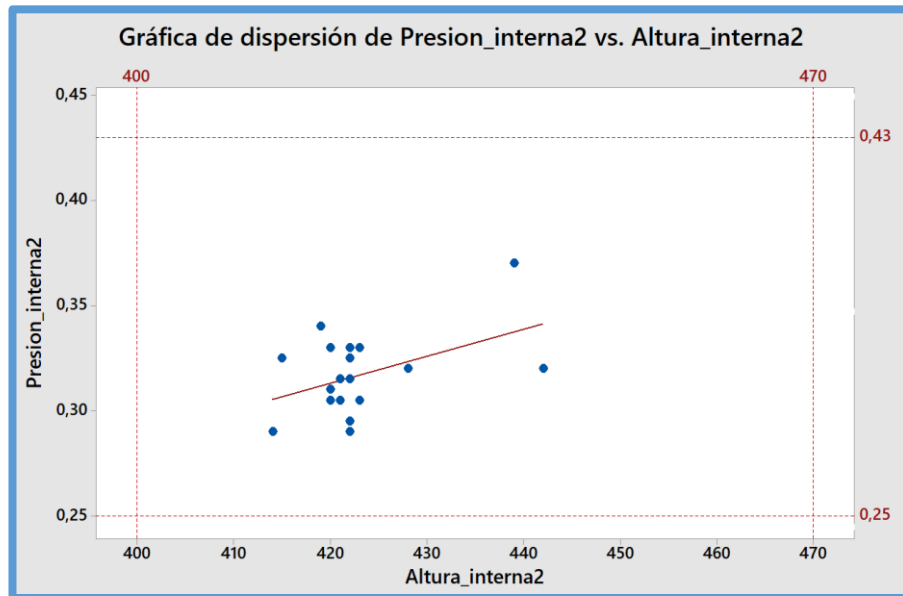
### Día 2 (post modifco) – Pata externa (#2)



**Figura 5.8.** Gráfica de dispersión de la pata externa con modificación (Fuente: propia)

- ✓ Todas las muestras cumplen las especificaciones mínimas de Presión. Por lo tanto, la calibración es efectiva.
- ✓ Sin embargo, a pesar de que se ha mejorado la altura de los contactos (se ha disminuido la dispersión) la mayoría de las muestras no alcanzan la altura mínima establecida en 400mm, tal y como puede observarse en la figura 5.8.

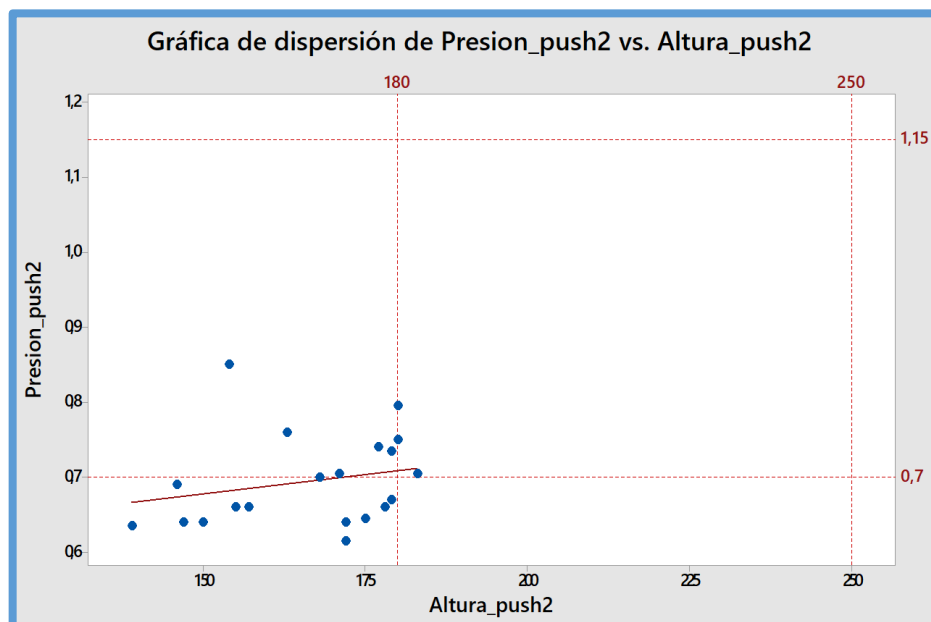
### Día 2 (post modifíco) – Pata interna (#1)



**Figura 5.9.** Gráfica de dispersión de la pata interna con modificación (Fuente: propia)

- ✓ Todas las mediciones de las patas internas de las muestras son correctas. Por lo tanto, se cumplen las especificaciones de cliente, tal y como puede observarse en la figura 5.9.

### Día 2 (post modifíco) – PUSH (#3)



**Figura 5.10.** Gráfica de dispersión del push con modificación (Fuente: propia)

- ✓ En el caso del PUSH, a pesar de que se mejoran los resultados con la modificación de parámetros, sigue habiendo demasiadas muestras con valores incorrectos, tal y como puede observarse en la figura 5.10.

### Conclusión del segundo muestreado

Gracias a la modificación de parámetros de Presión, los resultados mejoran sustancialmente para las patas internas y externas.

No obstante, el contacto del PUSH es insuficientemente alto como para dar unos valores correctos de presión. A pesar de ser una acción correctiva más costosa, se decide añadir sobre la matriz de conformado un soporte fabricado con una impresora 3D. De esta manera, cuando el pistón desciende los contactos son deformados a una mayor altura.

### 5.2.2. Aspecto (backlighting) NOK - Switch P8 PEUGEOT/CITRÖEN



**Figuras 5.11. y 5.12.** Switch P8 y tecla con retroiluminación NOK, respectivamente (Fuente: propia)

El tercer defecto más recurrente es el de la retroiluminación del interruptor P8 de Peugeot y Citroën (ver figuras 5.11. y 5.12.) y representa el 17,7% del total de piezas NOK. Además, tiene asociados unos PPM anormalmente altos. Por lo tanto, se decide indagar sobre la posible causa-raíz del problema.

Cuando circula corriente por el interruptor, las teclas se iluminan individualmente mediante Leds, con el objetivo de resaltar las funciones cuando se conduce durante la noche. Por consiguiente, es un problema de seguridad vial.

Cuando las piezas son verificadas en el test eléctrico final de línea, se descubre que el backlighting o retroiluminación de algunas teclas es más bajo que el resto. Una cámara de visión artificial realiza una foto de las teclas en un entorno oscuro y le aplica una binarización digital. Así, se contabilizan tanto los píxeles blancos del anagrama de cada tecla como la calidad del color blanco en sí.

El proceso de pintura (lacerado laser) es realizado por un proveedor. Como hipótesis más factible, se cree que no tienen ajustado bien los parámetros y algunas teclas resultan ser más oscuras. Además, es

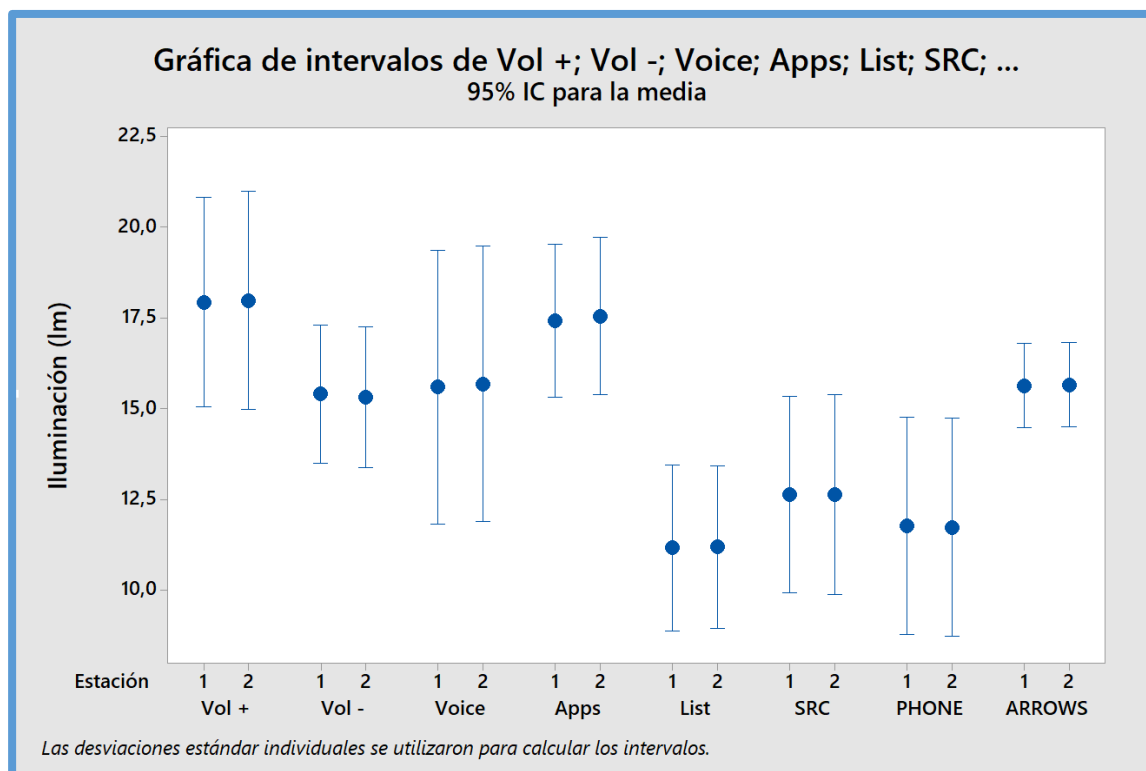
un proceso realizado de forma manual, por lo que el riesgo de error humano es alto. Para solventar el inconveniente sin necesidad de parar la producción, se informa a proveedor para que procedan con acciones correctivas y nos aseguren un BL garantizado (lote) con teclas verificadas al 100%. Asimismo, también se realiza un estudio estadístico para averiguar la magnitud del problema.

### **Primer muestreo de $n = 30$**

Se toma un primer muestreo de tamaño 30 para comprobar la retroiluminación del lote de teclas afectado. Se decide utilizar una gráfica de intervalos para descubrir si alguna de las teclas tiene más tendencia a tener un anagrama más oscuro que el resto. Además, también se utiliza la variable categórica Estación para agrupar las muestras según el test utilizado para ser verificadas. El resultado es el siguiente:

#### **Consideraciones a tener en cuenta:**

- ✓ Como ya se ha dicho con anterioridad, para los gráficos de intervalos, cuánto mayor sea el número de muestra, más representativo será el resultado. Además, para las mismas condiciones, el Intervalo de Confianza será más estrecho y preciso. En nuestro caso, se ha fijado el IC al 95%.
- ✓ Para IC de diferentes grupos resulta útil hacerse la siguiente pregunta: *¿se superponen entre sí?* Si el centro y IC de uno de ellos se desmarca del resto, la media de éste es significativamente diferente a la de los demás. Esto nos abre un nuevo abanico de preguntas.
- ✓ Como en todo proceso industrial, se desea reducir al máximo la variabilidad y, por ende, la dispersión. Generalmente, la muestra con un IC más preciso será el valor más óptimo.
- ✓ Generalmente, mientras más grande es el tamaño de muestra, más pequeño y más preciso es el intervalo de confianza. Si el intervalo de confianza es demasiado amplio, merece la pena tratar de recopilar una muestra más grande. Las diferencias grandes en los tamaños de las muestras entre grupos pueden afectar los anchos de los intervalos y producir resultados engañosos. Si los tamaños de las muestras de los grupos son aproximadamente iguales, se puede estar más seguro de que las diferencias en los anchos de los intervalos se deben principalmente a diferencias en la variación.



**Figura 5.13.** Gráfica de intervalos del primer muestreo (Fuente: propia)

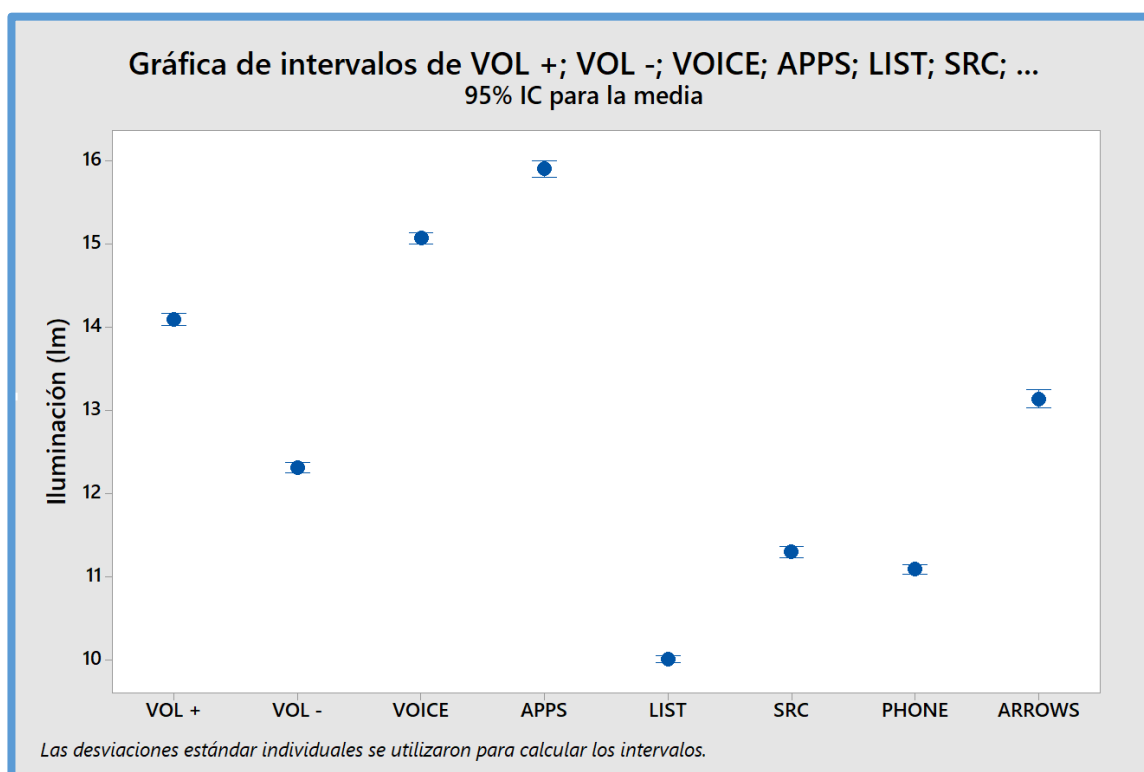
#### Interpretación de los resultados clave:

- La primera conclusión que puede extraerse de la figura 5.13. es que las teclas LIST, SRC y PHONE tienen una media de Iluminación más baja que el resto.
- Los resultados entre estaciones son muy similares para cada tecla. Por lo tanto, se descarta como causa-raíz un posible mal funcionamiento de uno de los test eléctricos de final de línea.
- Todos los IC de las diferentes teclas se solapan entre sí. Por lo tanto, ninguno de los centros se diferencia sustancialmente del resto. Sin embargo, los intervalos de confianza son demasiado anchos, por lo que el tamaño de muestra se debería aumentar para no extraer conclusiones precipitadas.
- La dispersión en la tecla Voice es demasiado alta. A pesar de tener una media de iluminación aparentemente alta, el IC es muy poco preciso. Esto podría inducirnos a errores o pérdidas de tiempo en las acciones correctivas.
- Al ser un problema crítico, se deciden tomar medidas drásticas. Se toman datos de retroiluminación de todas las piezas verificadas en los test EOLT durante un turno entero de mañana.



### Segundo muestreo de $n = 1067$

El objetivo del segundo muestreo es claro: obtener intervalos de confianza lo suficientemente estrechos y precisos para poder llegar a conclusiones con fundamento estadístico. Se decide obviar la variable categórica de Estación al no aportar ningún dato relevante. El resultado puede observarse en la figura 5.14.



**Figura 5.14.** Gráfica de intervalos del segundo muestreo (Fuente: propia)

#### Interpretación de los resultados clave:

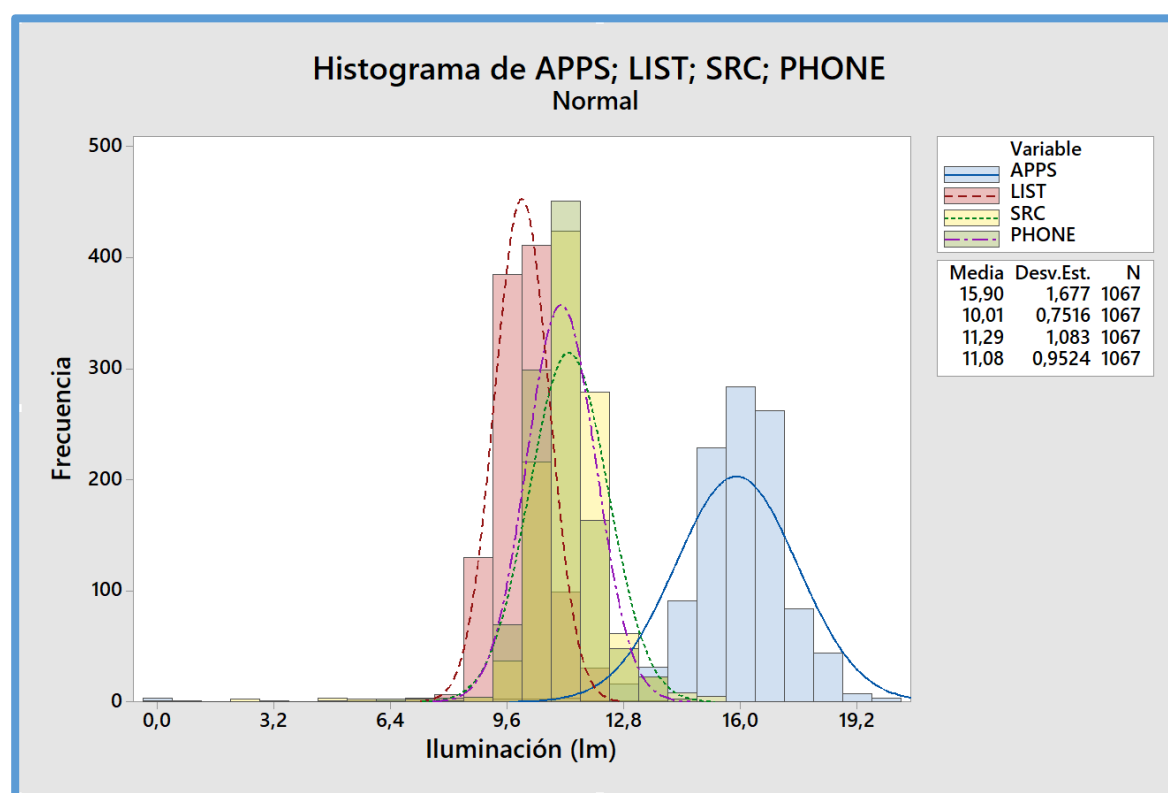
- Con un tamaño de muestra tan elevado, los IC calculados son increíblemente precisos y muy cercanos a la media de cada tecla. No se solapan entre sí.
- Se puede concluir con significancia estadística que las teclas LIST, SRC y PHONE del lote afectado son sustancialmente más oscuras que el resto. Por consiguiente, se debe informar a proveedor que priorice sus esfuerzos de mejora y verificación visual en las teclas mencionadas.

*Nota: este descubrimiento es de suma utilidad, ya que puede reducir a más de la mitad los tiempos de verificación visual para apartar teclas oscuras. Como ya es sabido, en toda planta de producción el tiempo es un recurso escaso y valioso. Además, revela que teclas deben ser revisadas con mayor minuciosidad para que sean apartadas antes de ser montadas y verificadas en la línea.*

- Se descubre que las teclas VOL- son, en general, más oscuras respecto al primer muestreo.
- Por otra parte, mediante este segundo muestreo, se ha reducido por completo la alta dispersión en la tecla VOICE. Realmente es una de las teclas con mejor retroiluminación.

Se decide utilizar un Histograma para examinar la forma y dispersión de los datos de iluminación de cada tecla, el cual puede observarse en la figura 5.15. El histograma divide los valores de la muestra entre muchos intervalos y representa la frecuencia de los valores de datos en cada intervalo con una barra. Un histograma funciona mejor cuando el tamaño de la muestra es al menos de 20. En nuestro caso, al ser de un tamaño de 1067 representamos con exactitud la distribución.

Para que la interpretación no sea engorrosa, se decide comparar las tres teclas más oscuras mencionadas con la de Apps.



**Figura 5.15.** Histograma de la iluminación de las teclas (Fuente: propia)

#### Interpretación de los resultados clave:

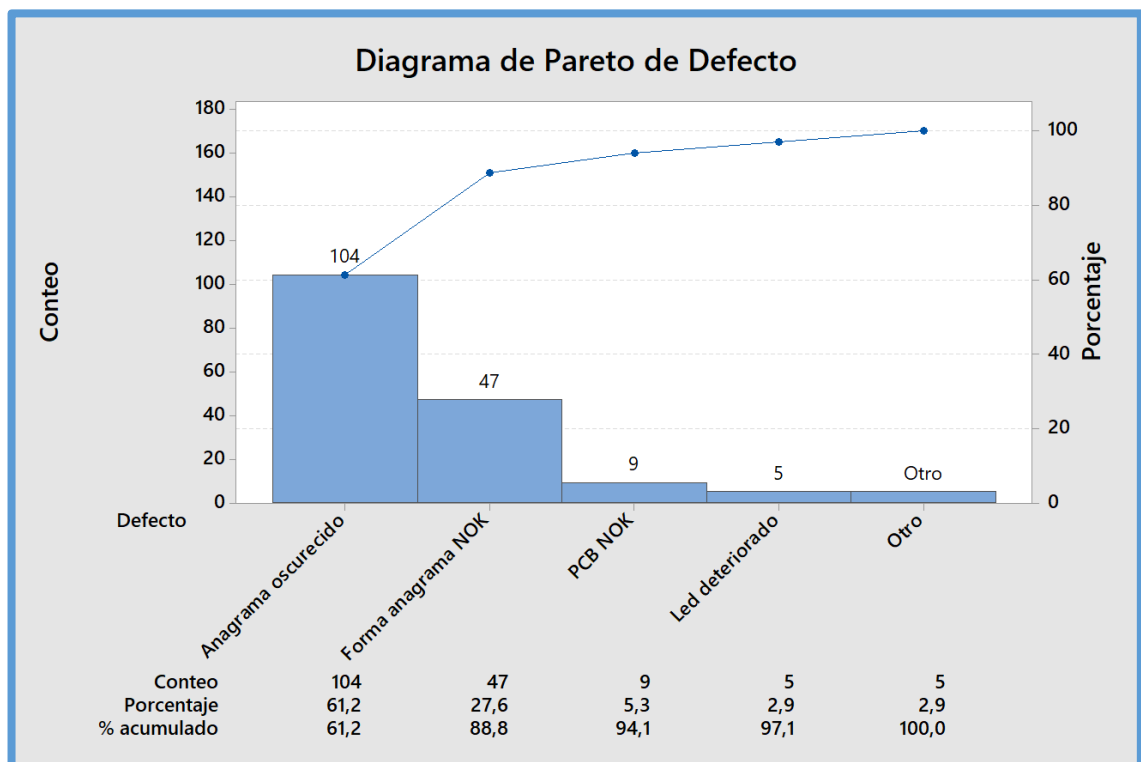
- En primer lugar, no hay datos asimétricos ni datos multimodales. Por lo tanto, los datos de las teclas siguen una distribución normal. El ajuste es adecuado.
- La media entre las teclas LIST, SRC y PHONE es prácticamente idéntica. Sin embargo, la media de la tecla APPS es sustancialmente más alta, como ya se ha comentado con anterioridad.

- La dispersión en la Iluminación de las tres teclas oscuras es muy similar. Las tres se mantienen constantes en su nivel bajo de Iluminación.
- Un fenómeno curioso es que la tecla LIST, con la media más baja, es la que a su vez ostenta la menor dispersión (0,7516). La desviación estándar de la tecla es aproximadamente la mitad de la desviación de la tecla APPS.
- La desviación estándar de la tecla APPS es de 1,677. Esto nos indica que varias muestras del lote tienen un valor de iluminación alejado de la media del grupo.

Para acabar de confirmar que el problema de backlighting se debe principalmente a las teclas oscurecidas que nos envía proveedor (y por lo tanto es su responsabilidad), se decide realizar un diagrama de Pareto con los defectos conocidos que provocan una retroiluminación nula o insuficiente.

Se hace un muestreo aleatorio de tamaño 170 de piezas rechazadas en línea por backlighting deficiente. La muestra tiene un tamaño lo suficientemente grande para ser representativa. Las conclusiones extraídas podrán ser extrapolables al resto del lote afectado.

Se realizan las aperturas de las piezas en busca de la causa-raíz que provoca el defecto. El resultado puede observarse en el diagrama de Pareto de la figura 5.16.



**Figura 5.16.** Diagrama de Pareto de los defectos de iluminación (Fuente: propia)

### Interpretación de los resultados clave:

- El defecto de Anagrama oscurecido representa el 61,2% del total de piezas NOK. Claramente, el proceso de lacerado laser en proveedor no está ajustado adecuadamente.
- El defecto de Forma anagrama NOK representa un 27,6% del total y también es provocado por un incorrecto proceso de pintura. El backlighting de las teclas que sufren este defecto es incorrecto debido a que la forma del anagrama no está correctamente definida.
- En total, estos dos defectos suman el 88,8% del total de piezas con retroiluminación incorrecta. Por lo tanto, aproximadamente el 90% de los defectos de backlighting son responsabilidad de proveedor.

### 5.2.3. Tampografía NOK — HUB manetas JEEP

#### Descripción del problema

Se detecta un pico de PPMs anormalmente alto en el proceso de tampografiado del HUB de JEEP. Representa el 13,5% de las 1399 piezas defectuosas totales (189 piezas NOK asociadas a este defecto).

Mediante un utillaje de tampografiar que se puede observar en la figura 5.17., uno de nuestros proveedores pinta los anagramas del HUB de la maneta limpiaparabrisas de JEEP. La pieza tiene una cavidad que es introducida en el útil, como se puede observar en la figura 5.18.



**Figuras 5.17. y 5.18.** Utillaje de tampografía y HUB de la maneta de JEEP (Fuente: propia)

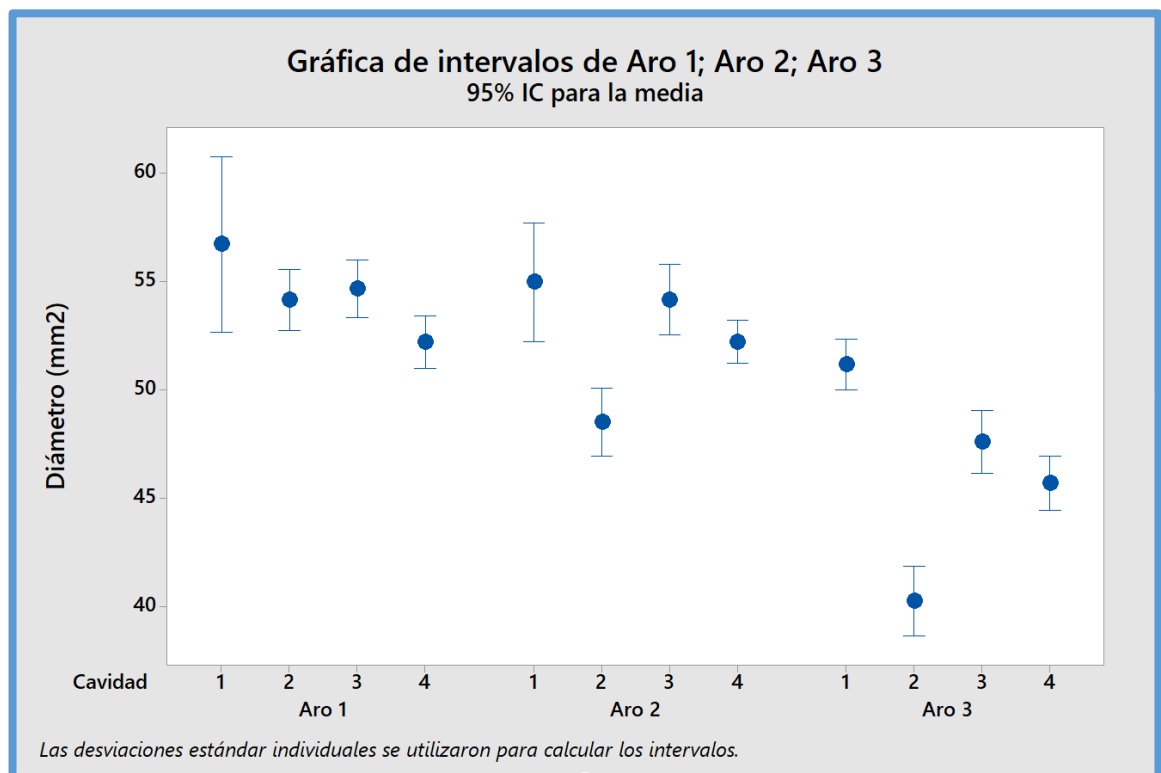
Sin embargo, nos denuncian que, al menos un cuarto de las piezas recibidas inyectadas por nosotros, no pueden ser introducidas hasta el fondo en el útil de pintura. Esto representa un 25% de rechazo aproximadamente.

Parece ser que una de las cuatro cavidades del molde que inyecta esta pieza, fabrica con algún tipo de rebaba o aro interno que sobresale más de lo debido, ejerciendo de tope e impidiendo insertar correctamente el HUB en el soporte.

En primer lugar, para intentar mitigar el problema y que no se tenga que scrapear ese 25% de rechazo, como medida preventiva se decide lijar ligeramente el soporte del utilaje para la correcta introducción de todos los HUBS, independientemente de la cavidad con la que hayan sido inyectados. Así paramos la “hemorragia” inicial.

En segundo lugar, se realiza un estudio estadístico para comprobar si realmente hay una cavidad del molde más afectada que el resto. Así podremos solucionar el problema de raíz.

Se realiza un muestreo de tamaño total  $n = 100$  con 25 muestras de cada una de las cuatro cavidades del molde de inyección del HUB. El objetivo es detectar si existe algún patrón en los datos que evidencie que una de las cavidades es defectuosa. Se hacen mediciones del diámetro de los tres aros internos del HUB mediante un pie de rey electrónico. El resultado se puede observar en la figura 5.19.



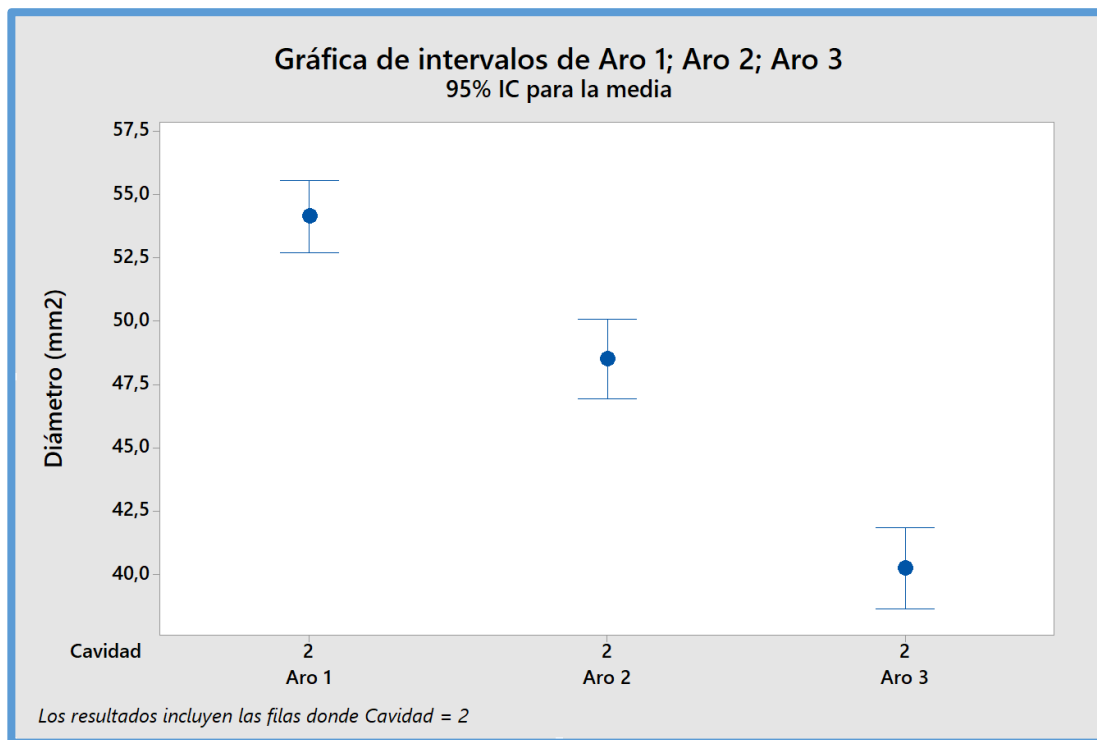
**Figura 5.19.** Gráfica de intervalos de los aros internos (Fuente: propia)

#### Interpretación de los resultados clave:

- En principio, la forma general del gráfico es correcta. Los aros internos van disminuyendo de diámetro a medida que se estrecha el interior del HUB.
- A pesar de que la dispersión del Aro 1 fabricado con la Cavidad 1 es alta, el IC se mantiene en valores correctos, al igual que el resto de los aros internos 1. Los IC se superponen entre sí, por

lo tanto, ninguna de las medias de las cavidades del Aro 1 se diferencia significativamente del resto.

- Sin embargo, los aros 2 y 3 fabricados con la Cavity 2 del molde tienen valores anormalmente bajos. Su media difiere significativamente del resto. Este fenómeno explica la causa del problema de tampografía en proveedor. Al tener diámetros inferiores a los valores normales, los aros 2 y 3 ejercen de tope impidiendo al HUB entrar hasta el fondo del soporte. Se decide filtrar el gráfico anterior por la condición Cavity = 2 para poder observar mejor los resultados, recopilados en la figura 5.20.

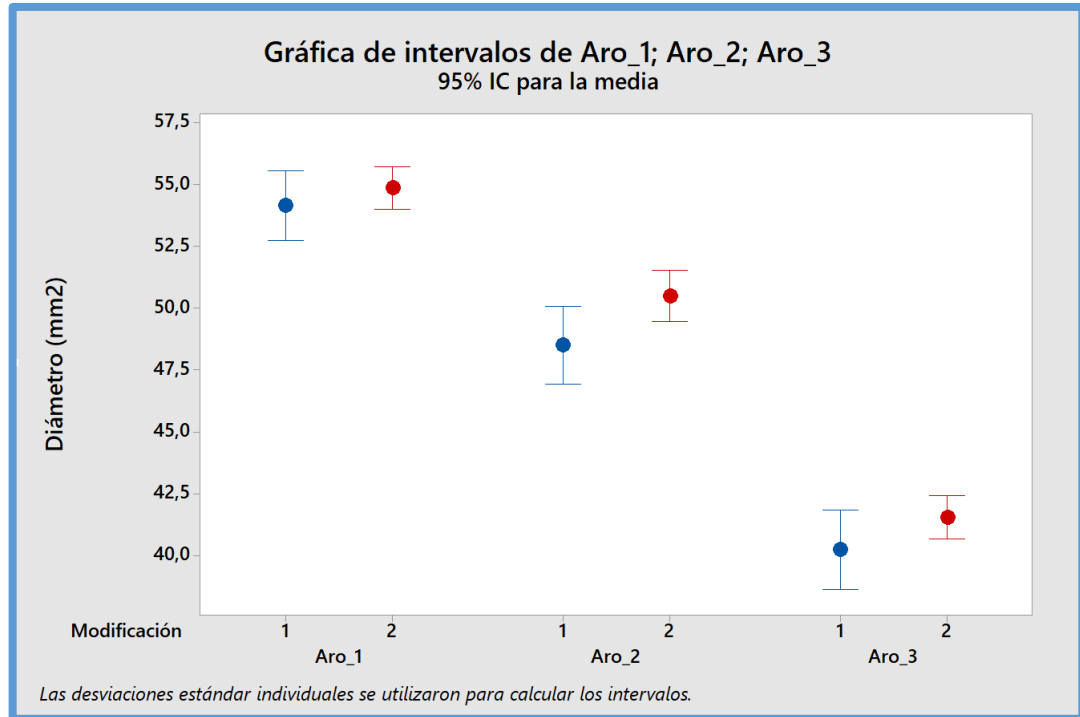


**Figura 5.20.** Gráfica de intervalos de los aros internos fabricados por la Cavity 2 (Fuente: propia)

- Efectivamente, la cavidad 2 del molde de inyección fabrica los HUBS con unos aros internos 2 y 3 de diámetro demasiado estrecho. Por lo tanto, se debe sanear el molde y modificar la cavidad afectada.

#### Gráfico de intervalos post-modífico:

Después de sanear la cavidad 2 del molde de inyección del HUB, se vuelve a hacer un muestreo de tamaño  $n = 60$  con el propósito de comparar los resultados y comprobar la efectividad de la modificación. Se ha utilizado la variable categórica Modificación para agrupar, por un lado, los HUBS inyectados inicialmente (*Modificación = 1, en azul*) y, por otro lado, los HUBS inyectados con la modificación del molde (*Modificación = 2, en rojo*).



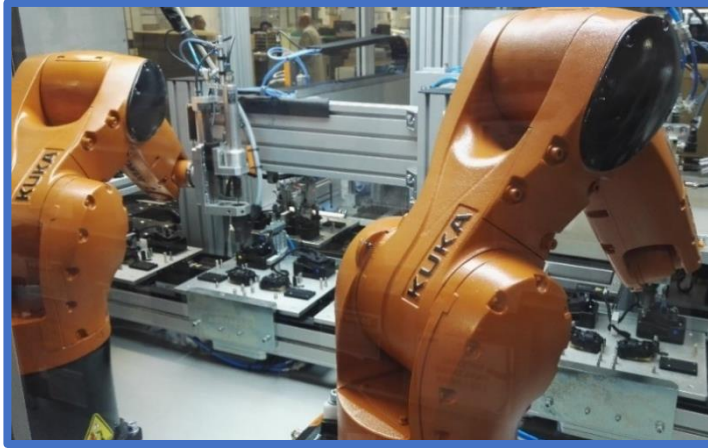
**Figura 5.21.** Gráfica de intervalos para comprobar la efectividad de la modificación (Fuente: propia)

#### Interpretación de los resultados clave:

- Mediante la modificación de la cavidad 2 del molde se ha conseguido aumentar ligeramente la media en todos los aros, así como precisión de los IC. En otras palabras, se ha reducido la variabilidad general de fabricación, tal y como puede observarse en la figura 5.21.
- Pese a que los resultados han mejorado, los valores de los diámetros internos siguen siendo inferiores al resto de cavidades.
- Mediante la modificación del molde y el lijado del soporte del utilaje, se logra que todos los HUBS encajen en el útil de tampografía, independientemente de la cavidad con la que hayan sido fabricados. Por consiguiente, no se cree necesario aplicar alguna acción correctiva adicional.

#### 5.2.4. Atornillado NOK – Switch P8 Peugeot/Citröen

Desde el comienzo de la implementación de la línea de producción del P8, el proceso de atornillado es completamente automático. Básicamente, el proceso es llevado a cabo por dos brazos robóticos KUKA que atornillan ambos lados del VCI (ver figura 5.22).



**Figura 5.22.** Brazos robóticos KUKA encargados del atornillado (Fuente: propia)

Además, el software de KUKA también realiza un control de atornillado para garantizar el correcto proceso de inserción. Verifica tres parámetros:

- ✓ Ángulo mínimo de atornillado (giros mínimos para introducir el tornillo).
- ✓ Ángulo máximo de atornillado (giros máximos para introducir el tornillo).
- ✓ Fuerzas de torque aplicadas (Presión ejercida).

La fuerza par ejercida por los KUKA está fijada por cliente y es un parámetro limitante, al no poderse modificar por riesgo a romper la cover del P8 y las cavidades/torretas en las que se insertan los tornillos. En cambio, es posible variar el ángulo máximo y mínimo de atornillado.

El principal inconveniente es que sólo se puede fijar un ángulo máximo/mínimo de referencia para todos los tornillos por igual. No es posible fijar unos límites para cada tornillo por separado.

### **Descripción del problema**

En la línea se reportan varios Switch P8 tanto de Peugeot como de Citroën con un atornillado insuficiente. Este defecto constituye el 10,8% de las 1399 piezas NOK totales.

Además, nos llega una reclamación de cliente con el mismo problema (ver figura 5.23.). Se deben aplicar acciones de contención para solventar el problema.





**Figura 5.23.** Ejemplo de atornillado insuficiente (Fuente: propia)

Todos los defectos de atornillado insuficiente tienen una característica en común: suceden en el lado izquierdo del interruptor. Por lo tanto, basaremos el estudio estadístico en el robot KUKA encargado de dicho lado.

#### **Hipótesis más factible sobre la causa raíz:**

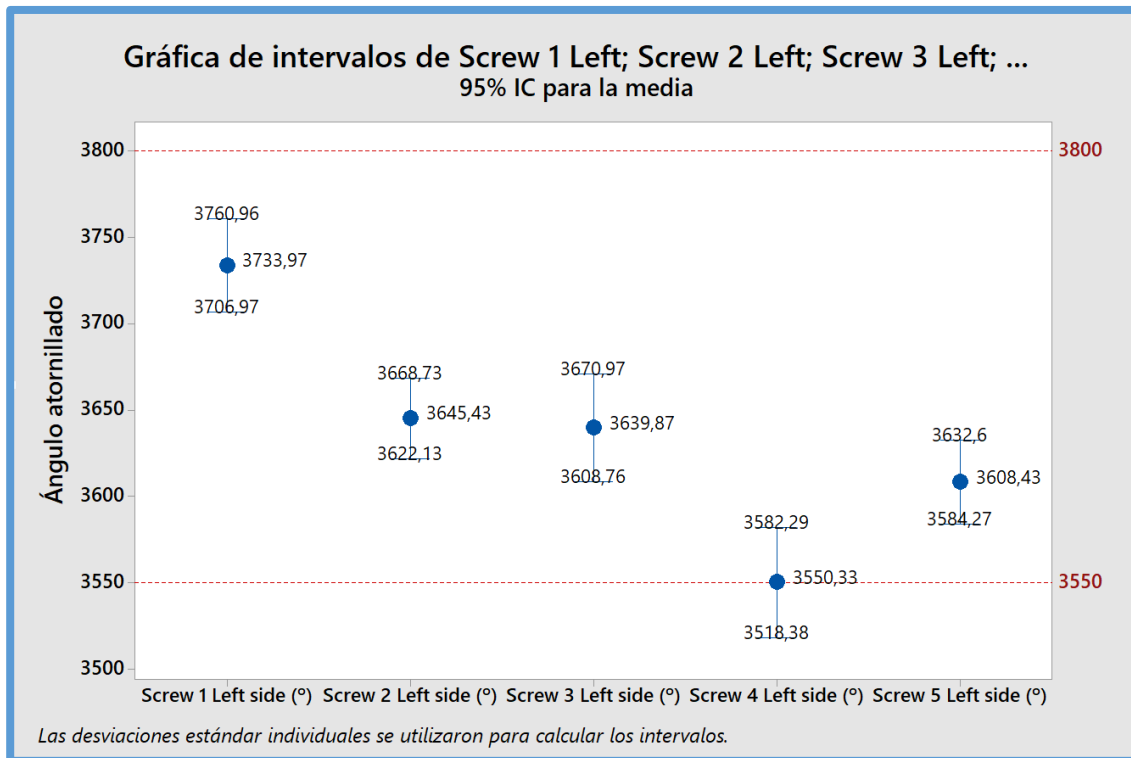
Las fuerzas de torque aplicadas por los robots de atornillado son un parámetro limitante, como ya se ha dicho con anterioridad. Es importante que no se excedan ciertos valores de fuerza límite para evitar roturas.

Quizás, algunas cavidades de los tornillos del lado izquierdo son ligeramente más estrechas en la parte interna, por motivos de diseño del producto. Como resultado, para introducir el tornillo más profundamente, se debe aplicar más fuerza de torque.

En esta hipotética situación, se podría alcanzar el valor máximo de fuerza par aplicada sin haber completado el atornillado. Por lo tanto, si los parámetros de atornillado no están definidos adecuadamente, se podría declarar el proceso como OK aunque el tornillo necesitase más vueltas para completar su recorrido.

Cabe destacar la dificultad que supone mantener un equilibrio entre los parámetros de atornillado. Además, dependiendo de la calidad del material plástico de los interruptores, las cavidades de introducción podrían ser más susceptibles a la ruptura.

Se procede a realizar una gráfica de intervalos (ver figura 5.24.) de los cinco tornillos del lado izquierdo del P8. El tamaño de muestra utilizado es de  $n = 180$ . Por lo tanto, para cada tornillo se tiene 36 valores de atornillado.

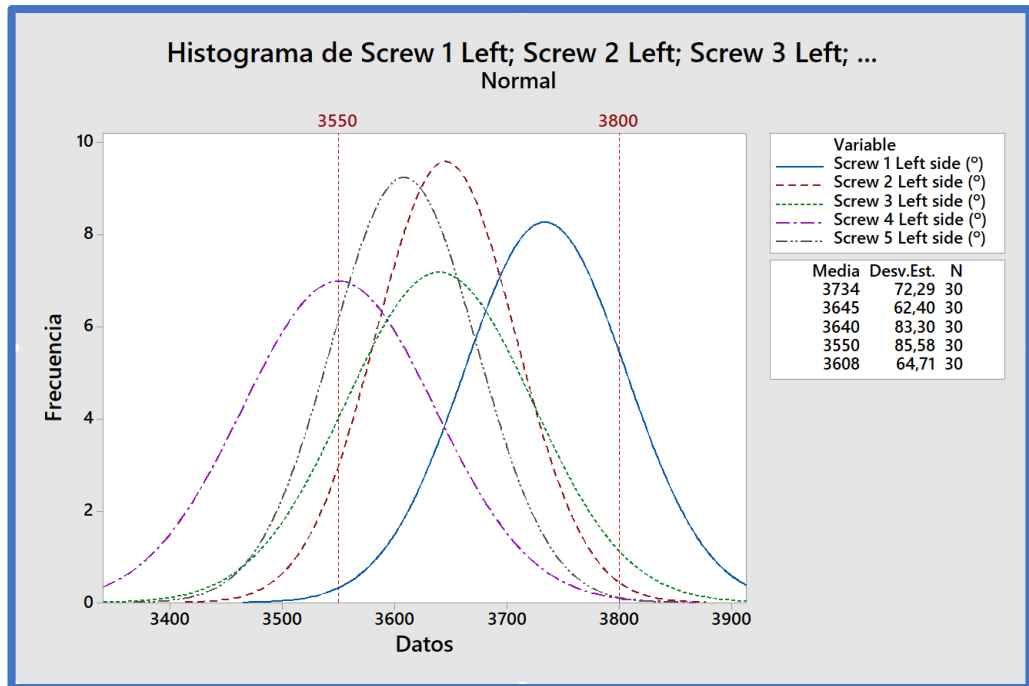


**Figura 5.24.** Gráfica de intervalos de los cinco tornillos (Fuente: propia)

#### Interpretación de los resultados clave:

- En primer lugar, se marcan los límites de ángulo de atornillado mediante líneas de referencia. Los límites han sido definidos por el departamento de Fiabilidad.
- Los tres parámetros de atornillado son idénticos para todos los tornillos. La gráfica nos demuestra que, para cada cavidad de inserción, el tornillo reacciona de manera distinta.
- Los IC del tornillo 1 y 4 no se superponen con el resto. Por lo tanto, su media es significativamente distinta. En el tornillo 1 se alcanzan ángulos de atornillado mayores. En cambio, en la cavidad del tornillo 4, cuesta más introducirlo.
- De hecho, tal y como puede observarse, la media del tornillo 4 se encuentra justo en el límite marcado por el ángulo mínimo. El IC de este sobrepasa dicho límite. Este fenómeno explica la causa del alto rechazo.
- La cavidad del tornillo 4 es (quizás) más estrecha que el resto y provoca que se llegue al par máximo ejercido antes. Por lo tanto, hay más ciclos de atornillado en los cuales no se alcanza el ángulo mínimo. En estos casos, el robot KUKA declara el atornillado como NOK.

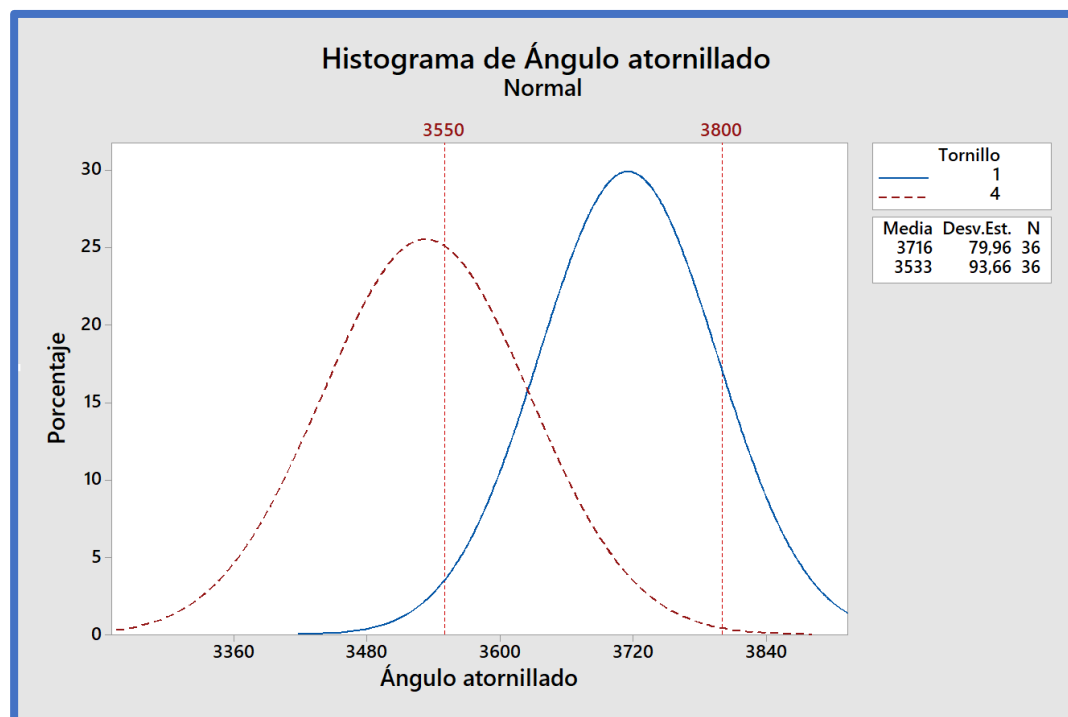
Veamos el histograma superpuesto de todos los atornillados, el cual puede observarse en la figura 5.25. Para la presentación de datos, se ha desactivado la opción de visualizar barras:



**Figura 5.25.** Histograma de los cinco tornillos (Fuente: propia)

- Todas las distribuciones son normales. La variabilidad, en cambio, difiere según el tornillo. La dispersión en los datos del tornillo 4 es mayor al resto, ya que la forma de la campana es más ancha.

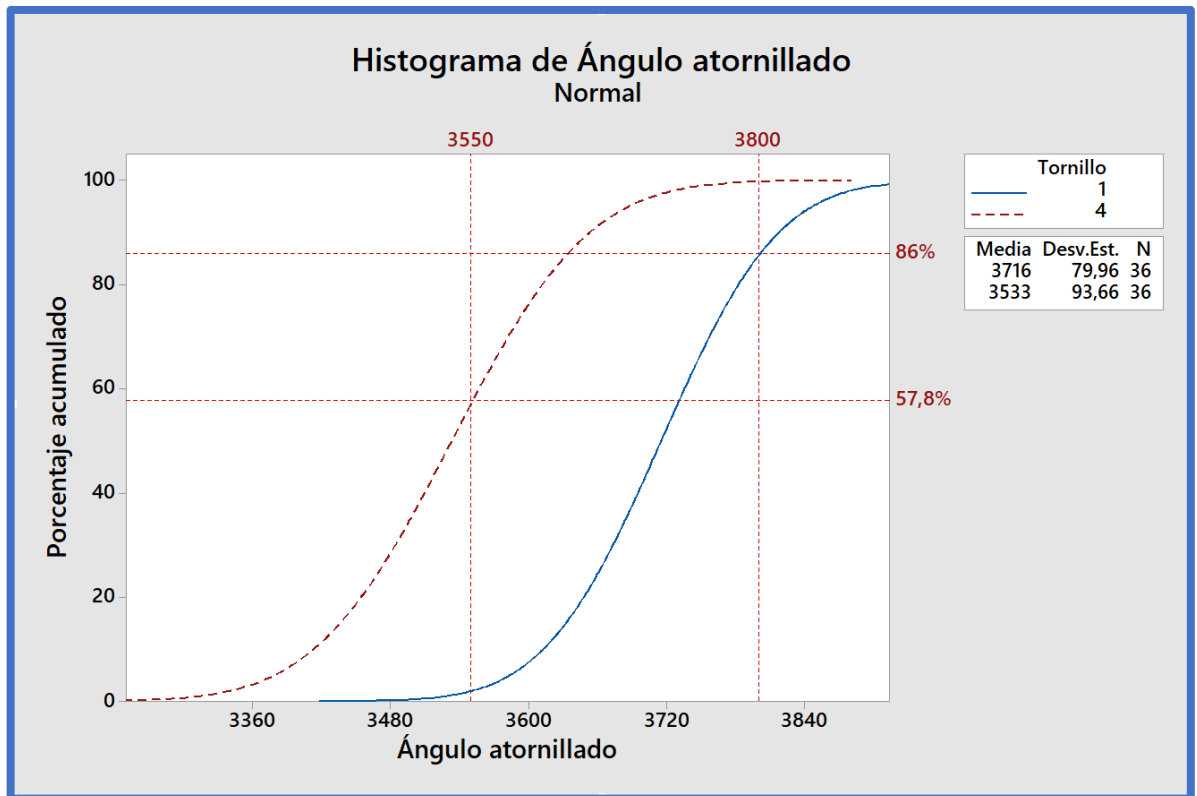
Se decide filtrar el histograma por el tornillo 1 y 4, que son los más conflictivos. En el eje de vertical visualizamos el porcentaje de la distribución normal. El resultado se puede observar en la figura 5.26.



**Figura 5.26.** Histograma del tornillo 1 y 4 (Fuente: propia)

- En el caso del tornillo 4, la probabilidad de que el atornillado no consiga alcanzar el ángulo mínimo es muy alta. La media, de hecho, es inferior al límite inferior.
- A pesar de que la precisión de atornillado en la cavidad 1 es más alta (campana más estrecha), algunos valores podrían sobrepasar el ángulo máximo de atornillado. Si esto sucede, la cover del P8 se aprieta demasiado y existe el riesgo de que alguna tecla tenga un retorno más duro. Por lo tanto, si se excede el límite superior, el atornillado también es declarado como NOK.

Se decide acumular porcentajes de izquierda a derecha para poder visualizar mejor las densidades de probabilidad (ver figura 5.27.).



**Figura 5.27.** Histograma del tornillo 1 y 4 con porcentajes acumulados (Fuente: propia)

- Para la muestra tomada, existe un 57,8% de probabilidad de que no se supere el ángulo mínimo de atornillado para el tornillo 4.
- A su vez, también existe un 14% de probabilidad de rebasar el ángulo máximo de atornillado para el tornillo 1.
- Estos datos reflejan la necesidad de estudiar las cavidades de estos dos tornillos minuciosamente. El ángulo mínimo establecido no puede ser disminuido para que haya menos rechazo, ya que nos arriesgamos a que se encuentren más piezas con un atornillado incompleto (el tornillo no llega al final de su recorrido). Tampoco puede ser aumentado, ya el nivel de rechazo para el tornillo 4 sería excesivamente alto.

Se crea un equipo de trabajo interdepartamental para intentar solventar el problema. El departamento de Producto se encarga de realizar informes dimensionales de las cavidades afectadas. Quizás una modificación en el diseño permitiría homogeneizar los resultados de atornillado. Por otro lado, el departamento de fiabilidad decide aumentar ligeramente la fuerza par ejercida con el objetivo de incrementar la media de atornillado. A pesar de que los resultados mejoran, se recibe un nuevo incidente de cliente con el mismo defecto asociado: atornillado insuficiente.

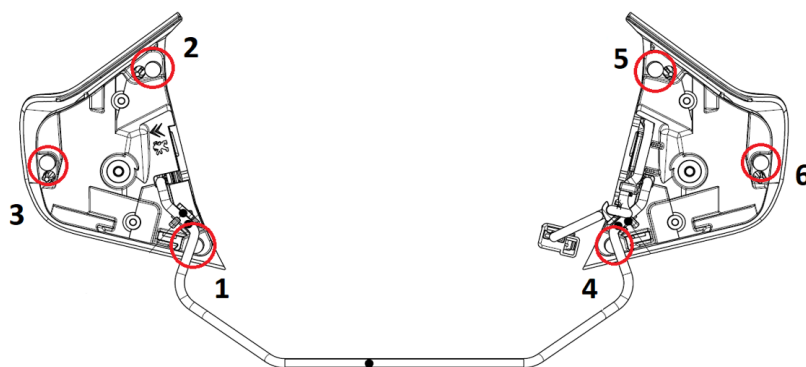
Actualmente, el departamento de Informática está trabajando en el desarrollo de un nuevo programa de atornillado para cada tornillo. Los parámetros, por tanto, no serán compartidos. Esto permitirá tratar cada cavidad de forma individual, mejorando la precisión general del proceso de atornillado.

### 5.2.5. Clipado NOK – Switch A9

Pese a ser el sexto y último defecto más recurrente, el pico de 62 piezas NOK por clipado defectuoso sucedió en un intervalo de dos días. Se aplicaron acciones correctivas inmediatamente para intentar solventar el problema de raíz. El principal inconveniente es que el defecto sólo era detectado cuando la pieza ya estaba completamente montada y era verificada por un humano en el GP-12, el último puesto de la línea.

El defecto se manifestaba en el lado derecho del interruptor. Concretamente, en una de las teclas. Al ser apretada, no tenía un retorno correcto y se quedaba bloqueada con mucha facilidad. Después de investigar posibles causas-raíz, se descubrió que el clipado de la cover en el lado derecho era excesivo, provocando el defecto en la tecla.

El clipado demasiado pronunciado sólo se puede atribuir a un atornillado excesivo. Se toman muestras para comprobar si existe algún patrón en los datos que nos aclare el problema. En total, se introducen 6 tornillos mediante dos robots KUKA idénticos al caso anterior. La figura 5.28. muestra los planos de cliente del switch A9.



**Figura 5.28.** Planos de cliente de los seis tornillos del A9 (Fuente: propia)

Pese a que el lado afectado sólo es el derecho, se considera oportuno realizar una gráfica de intervalos de los seis tornillos para comprobar si se trabaja entre los límites de especificaciones. El resultado se puede observar en la figura 5.29.

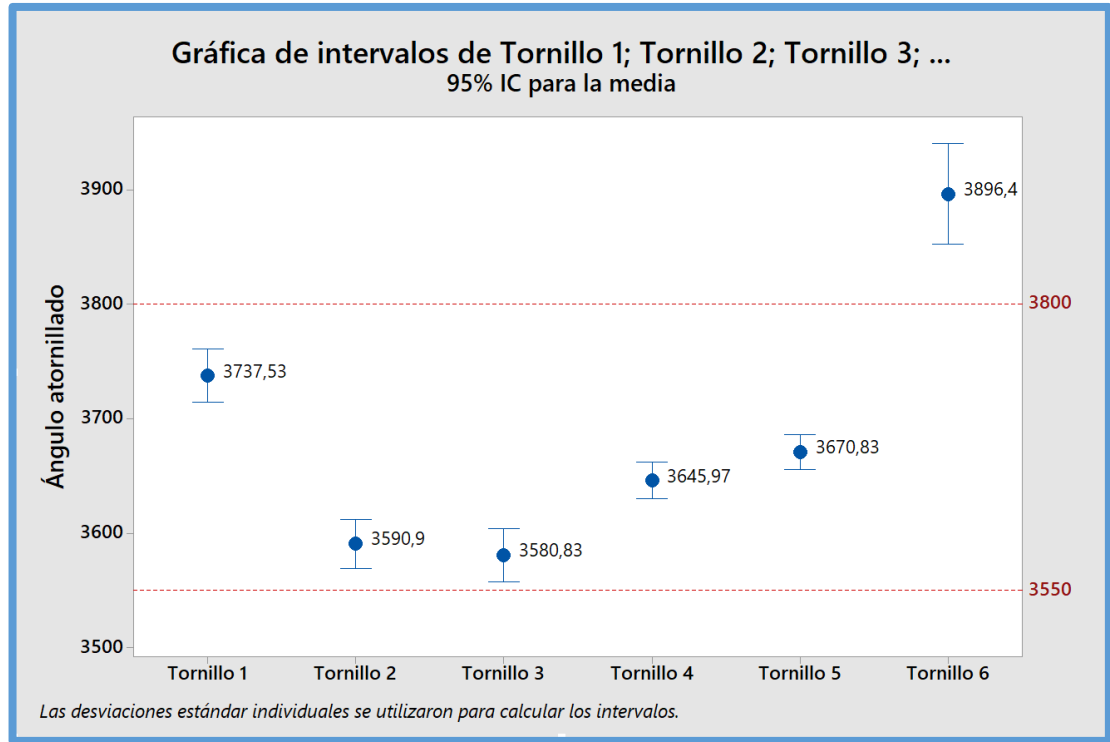
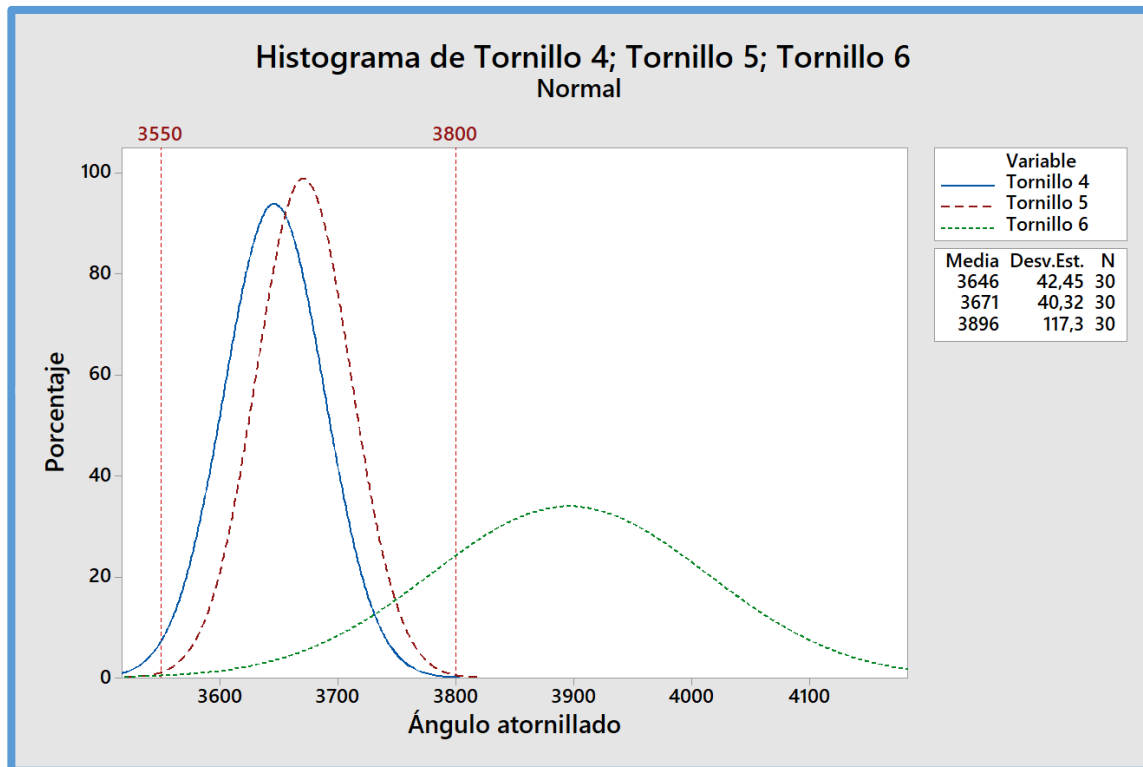


Figura 5.29. Gráfica de intervalos de los seis tornillos (Fuente: propia)

#### Interpretación de los resultados clave:

- Para el lado derecho (Tornillo 1,2 y 3), se atornilla dentro de los límites establecidos por el departamento de Fiabilidad.
- El tornillo 6 tiene una media de atornillado anormalmente alta. De hecho, sobrepasa sustancialmente el límite superior fijado en 3800. Por lo tanto, se está atornillando en exceso.
- El IC del tornillo 6 es más ancho al resto. Se procede a realizar histogramas del lado derecho para estudiar con más precisión la distribución de probabilidades. El resultado puede observarse en la figura 5.30.



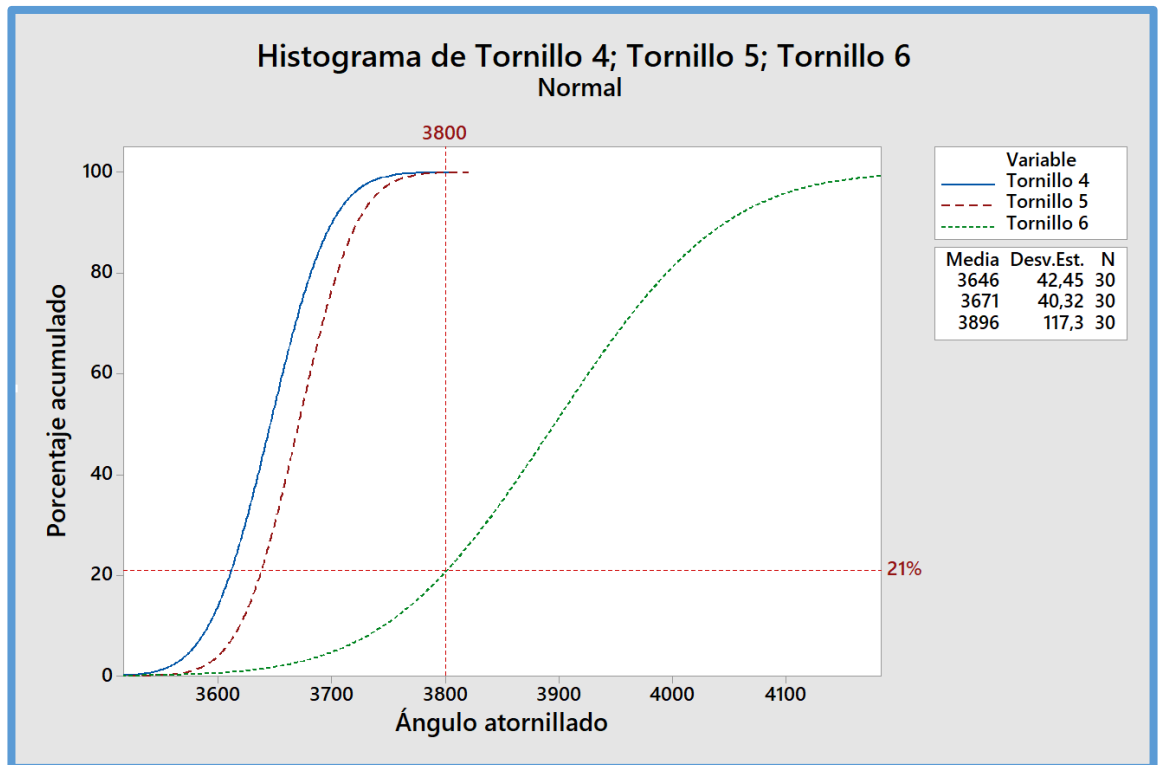
**Figura 5.30.** Histograma de los tornillos 4,5 y 6 (Fuente: propia)

#### Interpretación de los resultados clave:

- Los datos para los tres tornillos parecen seguir una distribución normal. No hay datos asimétricos, multimodales o atípicos que demuestren lo contrario, tal y como puede observarse en la figura 5.30.
- Los atornillados 4 y 5 son precisos y consistentes. En cambio, el tornillo 6 tiene una variabilidad (desviación estándar) tres veces mayor, reflejada en lo ancho de la forma de su campana.
- La media del tornillo 6 (3896) es mayor al límite superior máximo fijado por Fiabilidad. Por lo tanto, ya se ha identificado la causa-raíz del defecto de clipado.

Se decide acumular porcentajes de izquierda a derecha para poder visualizar mejor las densidades de probabilidad. El resultado se puede observar en la figura 5.31.





**Figura 5.31.** Histograma de los tornillos 4,5 y 6 con porcentajes acumulados (Fuente: propia)

#### Interpretación de los resultados clave:

- Tan sólo el 21% del atornillado en la cavidad 6 cumple con el límite superior aceptado. El 79% restante es excesivo y provoca el bloqueamiento en las teclas. Además, al tener tanta dispersión, los resultados son muy dispares.
- Se informa inmediatamente al departamento de Producto. Se descubre que en muchas de las cavidades donde se introduce el tornillo 6, hay un defecto de inyección que provoca un paso faltado de material. Se procede a retirar todo el lote con material afectado y a inyectar nuevas cover (alojamiento torretas atornillado) para garantizar un atornillado correcto.



## 6. Análisis del impacto ambiental

Para ser competente como organización, es necesario estar plenamente comprometido con el medio ambiente. Para ello, se debe efectuar un control estricto de los bajos residuos que los procesos generan adoptando medidas de reciclaje o de tratamiento para su correcta gestión a través de transportistas homologados. Respecto los subprocesos, también es necesario mantener una actitud flexible y ser capaz de detectar oportunidades de mejora para incorporar y mejorar la eficiencia ambiental. Es fundamental mantener plenamente integrada la gestión ambiental en el día a día de una planta de fabricación. Asimismo, para ganar tanto credibilidad como competencia como empresa productora, es primordial acreditar los certificados de las normativas IATF TS 16949 (norma específica del sector del automovilismo), ISO 9001 e ISO 14001.

### 6.1. Recursos que se utilizan

Como consecuencia tanto de un funcionamiento normal como de las posibles averías, accidentes, etc., los procesos estudiados tienen un impacto ambiental a considerar. En primer lugar, es conveniente considerar algunos de los recursos que se utilizan:

- Instalaciones: Iluminación artificial, ventilación con extracción forzada, acometida eléctrica, cabinas aisladas con aspiración de humos. Almacén. Planta de inyección.
- Equipo y maquinaria: Carros transportadores, bancos de trabajo, mesas de soldadura, taburetes, automatismos, ascensores, etc.
- Herramientas y utillaje: extintores, martillos de bola, juegos de limas, reglas de acero milimetradas, alicates, destornilladores, etc.
- Material de consumo: Silicona, hoja de sierra, electrodos de tungsteno, brocas, resina dieléctrica, etc.
- Elementos de protección: Botas, gafas de esmerilar, guantes, polainas, orejeras, etc.
- Agua
- Energía
- Gases

### 6.2. Aspectos e impactos ambientales que considerar

#### 6.2.1. Aspectos ambientales

- Residuos asimilables a urbanos: Papel, cartón, envases (plástico, vidrio, metal), residuos orgánicos, trapos y ropa.



- Residuos industriales inertes: Restos de metales, de electrodos, plásticos, herramientas viejas, pantallas de protección, etc.
- Residuos peligrosos: Partículas y polvos metálicos, filtros de campanas de extracción, aerosoles, productos tóxicos y sus envases, resinas dieléctricas caducadas, pilas, baterías, etc.
- Emisiones a la atmósfera: Gases y ruidos.

### 6.2.2. Efectos/Impactos sobre el medio ambiente

Para intentar minimizar el impacto que tienen los procesos estudiados, es necesario tener en cuenta los siguientes factores para ejercer unas buenas prácticas ambientales:

- Agotamiento de recursos:
  - Empleando electricidad procedente de centrales de combustión de carbón o gas natural.
  - No aprovechando al máximo los materiales.
  - No reutilizando los restos metálicos.
- Contaminación atmosférica: Emitiendo gases procedentes de las soldaduras, etapas de pintura, etc.
- Reducción de la capa de ozono: Empleando aerosoles, aceites o desengrasantes con CFC.
- Contaminación del agua:
  - Partículas metálicas que llegan al agua a través de los humos.
  - Saneamiento de moldes de inyección sin un tratamiento posterior.
  - Restos de aguas de lavados de maquinaria o instalaciones.
- Residuos:
  - No separando los residuos.
  - No cambiando los filtros de los sistemas de extracción con la frecuencia debida para que funcionen correctamente.
  - Comprando productos con un embalaje excesivo.

### 6.3. Gestión de residuos

En general, se mejora y/o contribuye a una buena gestión ambiental de los residuos de la siguiente forma (Expo Zaragoza [15]):

- Utilizando elementos susceptibles de ser reciclados.
- Empleando las llamadas “bolsas de subproductos” para determinados desechos como pueden ser aceites lubricantes.
- No usando materiales que tras su uso se transformen en residuos tóxicos.

- Correcto manejo de los residuos y gases nocivos.
- Cumpliendo correctamente la normativa, lo que supone:
  - Correcta separación de los residuos y depositarlos en contenedores habilitados para ello.
  - Seguir las normas establecidas para la recogida de los residuos objeto de recogida especial.

#### **6.3.1. Residuos asimilables a urbanos**

Han de depositarse en los contenedores habilitados para ello y siguiendo la normativa vigente, ya que son residuos que se recogen a domicilio.

#### **6.3.2. Residuos industriales inertes**

En las instalaciones se han debido separar y depositar cada tipo de residuo en contenedores en función de las posibilidades de recuperación y requisitos de gestión. En el traslado al exterior se puede solicitar la recogida y transporte, la autorización en el centro de Tratamiento o entregarlos a gestores autorizados.

En este subgrupo entrarían la mayoría de las piezas scrapeadas utilizadas en los muestreos, siempre que no tengan grasa o algún tipo de sustancia que exija un tratamiento distinto.

#### **6.3.3. Residuos peligrosos**

En las instalaciones, es necesario separar correctamente todas las piezas que contengan estos residuos. Se han de identificar los contenedores mediante etiquetas. Asimismo, se han de almacenar en contenedores adecuados y que no se vean afectados por los materiales que contienen, además de ser resistentes a la manipulación. Se deben colocar los residuos en zonas bien ventiladas, a cubierto del sol y la lluvia, separados de focos de calor o llamas, que no puedan reaccionar entre sí y en el caso que ocurriera un accidente que sus consecuencias sean mínimas. Por último, se deben dar de alta los residuos de este tipo en un registro. Todos los residuos peligrosos y los envases contenedores han de ser gestionados por un gestor autorizado (Expo Zaragoza [15]).

En el caso que nos ocupa, el único residuo tóxico usado en el presente estudio es la resina dieléctrica Epoxi 4307.

## 6.4. Resina dieléctrica Epoxi 4307

En los anexos, se adjunta la ficha de datos de seguridad de la resina. Sin embargo, a continuación, se hará una síntesis de lo relativo al tratamiento y gestión de este residuo para evitar un impacto ambiental. En primer lugar, la manipulación y almacenamiento de este:

### 6.4.1. Manipulación y almacenamiento

#### Precauciones generales

Cumplir con la legislación vigente en materia de prevención de riesgos laborales en cuanto a manipulación manual de cargas. Mantener orden, limpieza y eliminar por métodos seguros.

#### Recomendaciones técnicas para la prevención de incendios y explosiones.

Producto no inflamable bajo condiciones normales de almacenamiento, manipulación y uso. Se recomienda trasvasar a velocidades lentas para evitar la generación de cargas electroestáticas que pudieran afectar a productos inflamables.

#### Recomendaciones técnicas para prevenir riesgos ergonómicos y toxicológicos.

No comer, beber ni fumar en las zonas de trabajo; lavarse las manos después de cada utilización, y despojarse de prendas de vestir y equipos de protección contaminados antes de entrar en las zonas para comer.

#### Recomendaciones técnicas para prevenir riesgos medioambientales.

En virtud de la legislación comunitaria de protección del medio ambiente se recomienda evitar el vertido tanto del producto como de su envase al medio ambiente.

#### Condiciones de almacenamiento seguro.

Clasificación: No relevante

Tª mínima: 5°C

Tª máxima: 30°C

Tiempo máximo: 6 meses

Evitar fuentes de calor, radiación, electricidad estática y contacto con alimentos.

### 6.4.2. Información ecológica

A continuación, se puede observar una tabla de persistencia y degradabilidad y el potencial de bioacumulación del residuo. En líneas generales, a pesar de ser un producto tóxico por inhalación, su potencial contaminante es bajo.

Identificación	Degradabilidad		Biodegradabilidad	
	DBO5	No relevante	Concentración	100 mg/L
	DQO	No relevante	Periodo	28 días
	DBO5/DQO	No relevante	% DBO degradada	0 %

El período que tarda en degradarse es de 28 días. El % de DBO es un medidor de grado de contaminación. En concreto, es un parámetro que mide la cantidad de dióxígeno consumido al degradar la materia específica. En este caso es del 0%, por consiguiente, no es peligrosa a nivel medioambiental.

Identificación	Potencial de bioacumulación	
	BCF	4
	Log POW	2,8
	Potencial	Bajo

El potencial de bioacumulación también es bajo. Sin embargo, es necesario tener varias consideraciones relativas a la eliminación y al transporte, al tratarse de un residuo orgánico que contiene sustancias peligrosas.

## Conclusiones

En este trabajo se han presentado de forma práctica los pasos y las técnicas principales, no sólo estadísticas, sino también organizacionales, para conocer, entender y poder aplicar herramientas estadísticas para el control de calidad. Todos los datos usados son reales, originados en una planta de fabricación del sector automovilístico.

Como consecuencia del estudio e investigación de forma holística de la metodología utilizada, se puede concluir que, a pesar de que los esfuerzos por trabajar bajo un esquema de calidad exigente son muchos, los beneficios son aún mayores, cuando los resultados de operación de la empresa se ven reflejados en la satisfacción tanto interna como en la de los clientes. Por lo cual, convierte a la empresa en una organización competitiva, de alto nivel y, sobre todo, de calidad mundial. Algunos de los principales beneficios transversales resultantes de la aplicación de dichas herramientas son los siguientes:

- ✓ Reduce costos a través de la eliminación de errores internos y la variabilidad general del proceso.
- ✓ Reduce el tiempo de proceso, evitando retrabajos o parones en la línea.
- ✓ Incrementa tanto la productividad de la empresa como su credibilidad de cara al cliente.
- ✓ Mejora la calidad en el proceso de desarrollo de nuevos diseños para los productos, que mejoren el rendimiento general y eviten futuras incidencias.
- ✓ Mejora la calidad del conocimiento sobre el proceso, por lo que aplicar acciones correctivas o modificaciones pertinentes resulta más fácil.
- ✓ Permite comprobar la eficacia de las acciones correctivas perpetradas.
- ✓ Permite realizar comparaciones de rendimiento y medir cuantitativamente la capacidad general de los procesos para producir bajo las especificaciones requeridas.

### Conclusiones sobre el Control estadístico de la soldadura

El objetivo fundamental del control estadístico realizado es reducir a cero las incidencias relacionadas con malas soldaduras en la línea del by-pass, o al menos intentar reducir al máximo la variabilidad controlable del proceso. Asimismo, también se desea detectar rápidamente la ocurrencia de variabilidad inusual debida a variables desconocidas, así como investigar las causas de fenómenos extraordinarios para tratar de eliminarlas. Por último, es imprescindible tener la capacidad de descifrar información implícita en los datos recolectados para, posteriormente, informar y tomar decisiones oportunas.

Como se ha podido comprobar en el presente estudio, todos los objetivos del Control se han logrado. En efecto, la aplicación de herramientas estadísticas ha sido fundamental para, por ejemplo, optimizar



los parámetros de intensidad efectiva de la soldadura cuando los electrodos ya han asumido cierto régimen de trabajo. En definitiva, se han conseguido los dos propósitos iniciales del seguimiento:

En primer lugar, aumentar significativamente la capacidad productiva de un proceso, inicialmente descontrolado, para obtener resultados homogéneos y de calidad más que aceptable. En segundo lugar, reducir sustancialmente la probabilidad de producir terminales con alto riesgo de desprendimiento.

Cabe destacar la enorme importancia que estos resultados suponen para la empresa, tanto a nivel económico como de credibilidad de cara al cliente. Por cada incidente que se ha evitado perpetrar, se han ahorrado miles de euros en pagar las respectivas multas. Asimismo, durante una auditoría externa, se puede mostrar todo el control estadístico realizado para demostrar que el proceso de soldadura está controlado y que no hay ninguna variable desconocida que pueda afectar a la calidad del producto final.

### **Conclusiones sobre Calidad Producción**

El objetivo principal de la segunda parte de este trabajo es estudiar un informe mensual de producción real, identificando las causas-raíces de cada defecto para, posteriormente, ejecutar las acciones correctivas necesarias para erradicarlos. Para ello, la aplicación de los diagramas de Pareto, entre otros, ha sido esencial, ya que su uso ha permitido alcanzar los siguientes objetivos:

- ✓ Permite centrarse en los aspectos cuya mejora tendrá más impacto, optimizando los esfuerzos y enfocándonos en reducir los defectos con unos PPM asociados más altos.
- ✓ Proporciona una visión simple, transversal y rápida de la importancia relativa de los problemas.
- ✓ Ayuda a evitar que se empeoren algunas causas al tratar de solucionar otras.
- ✓ Su visión gráfica del análisis es fácil de comprender y estimula al equipo para continuar con la mejora.
- ✓ Permite identificar eventos anormales de difícil detección para los supervisores de Calidad en la Línea, como podría llegar a ser un goteo diario continuo de un defecto recurrente.
- ✓ Permite evidenciar la necesidad de aplicar acciones correctivas que mejoren el estado actual del proceso, puesto que algunas muestras no cumplen con las especificaciones mínimas requeridas.
- ✓ Permite descubrir, por ejemplo, cavidades de moldes afectadas con un defecto de inyección que provoca una rebaba indeseada o falta de material. Por consiguiente, ayuda a discernir entre el material afectado para proceder a retirar los lotes con material inyectado con la cavidad defectuosa.
- ✓ Permite comprobar la efectividad de las acciones/modificaciones correctivas realizadas mediante comparativas de los resultados.

- ✓ El abanico de posibilidades que genera el diagrama de Pareto permite un tratamiento posterior de los datos más incisivo. Como se ha visto en el presente trabajo, incluso permite descubrir que el defecto es causado por la materia prima y, por lo tanto, la responsabilidad es de proveedor.

## Presupuesto

En el presente apartado se incluye el presupuesto desglosado de todos los muestreos realizados. Asimismo, también se ha agrupado en las dos partes bien diferenciadas que estructuran el trabajo: el coste del control estadístico y el de Calidad Producción.

Para cada muestreo se ha tenido en cuenta el tamaño de muestra, el coste unitario por scrapear la pieza medida y el tiempo de muestreo. Para muchas de las tomas de muestra, los ensayos son necesariamente destructivos. Por ejemplo, los ensayos de tracción para comprobar la calidad de la soldadura lo son, ya que se arrancan los terminales y el by-pass queda inservible.

Por otro lado, para cada tiempo de muestreo hay un coste asociado por mano de obra. También se ha creído conveniente establecer un precio por todas las horas de aprendizaje autónomo dedicadas a elaborar el presente estudio. El salario acordado para los estudiantes de prácticas es de 7€/h.

El coste asociado al control estadístico es el siguiente:

Denominación	Coste unitario (€)	Nº de muestra	Coste total muestreo (€)
<b>Control estadístico</b>			
By-pass (5 terminales soldados)	1,51	936	<b>1413,66</b>
Electrodos de tungsteno	2,52	260	<b>655,2</b>
By-pass (con resina dieléctrica + tapa)	2,17	78	<b>169,35</b>
Lámpara ultravioleta	123,89	1	<b>123,89</b>
Incidentes asociados	2500-4000	14	-

En total, se han realizado 65 cambios de electrodo. Para cada soldadura se tiene un electrodo inferior y otro superior. A su vez, se tiene dos PECOS que sueldan los cinco terminales.

Como se puede observar, no se ha querido tener en cuenta el coste de los incidentes asociados a las malas soldaduras de by-pass, ya que no son costes asociados al control estadístico del proceso en sí. El tiempo de muestreo de todo el control y su coste asociado es el siguiente:

Denominación	Tiempo muestreo unitario (min)	Total tiempo (min)	Coste total tiempo (€)
<b>Control estadístico</b>			
By-pass (5 terminales soldados)	7 ( <i>esfuerzo tracción</i> )	6552	<b>764,4</b>
Electrodos de tungsteno	8 ( <i>cambio electr.</i> )	2080	<b>416</b>
By-pass (con resina dieléctrica + tapa)	7	546	<b>63,7</b>

Lámpara ultravioleta	90	90	<b>18</b>
Incidentes asociados	N/A		<b>0</b>

Todos los cambios de electrodo, así como la instalación de la lámpara ultravioleta, ha sido llevada a cabo por los mecánicos de la planta. Por lo tanto, el coste de mano de obra para ambas cosas es de 12€/h. Por otro lado, los tiempos de muestreo unitarios son orientativos.

El coste total del control estadístico del proceso de soldadura ha sido el siguiente:

Denominación	TOTAL (€)
<b>Control estadístico</b>	
By-pass (5 terminales soldados)	<b>2178,06</b>
Electrodos de tungsteno	<b>1071,2</b>
By-pass (con resina dieléctrica + tapa)	<b>233,05</b>
Lámpara ultravioleta	<b>141,89</b>
Incidentes asociados	-
<b>TOTAL</b>	<b>3.624,20</b>

El coste asociado al muestreo de todos los defectos analizados en Calidad Producción es el siguiente:

Denominación	Coste unitario (€)	Nº de muestra	Coste total muestreo (€)
<b>Calidad Producción</b>			
RING DUCATO	0,14	78	<b>10,45</b>
Modificación Matriz con impresora 3D	-	-	
SWITCH P8 (backlighting)	17,26	170	<b>2934,28</b>
Lotes afectados (sólo teclas)	48,03	8	<b>384,26</b>
Tampografía HUB JEEP	0,09	133	<b>11</b>
Saneamiento útil pintura	-	1	
Actualización software atornillado	-	-	
Incidente asociado	2000	1	-
Clipado A9 (tapa)	0,34	30	<b>10,27</b>

Los lotes afectados de teclas con un lacerado defectuoso suman un total de 8 cajas. Por cada caja que llega de proveedor, hay 156 teclas en total. El precio unitario por conjunto de seis teclas es de 0,31 €.

Por otro lado, no se ha concretado ni el coste de la modificación de la matriz de conformado ni el de saneamiento del útil de pintura del HUB. Tampoco el coste de actualización del software de atornillado. El motivo principal es que se desconocen dichos costes, sin embargo, si se ha hecho un presupuesto aproximado del coste del tiempo.

Denominación	Tiempo muestreo unitario (min)	Total tiempo (min)	Coste total tiempo (€)
<b>Calidad Producción</b>			
RING DUCATO	4 ( <i>medir patas</i> )	312	<b>36,4</b>
Modificación Matriz con impresora 3D	-		<b>48</b>
SWITCH P8 (backlighting)	6 ( <i>desatornillado</i> )	1020	<b>119</b>
Lotes afectados (sólo teclas)	-		<b>0</b>
Tampografía HUB JEEP	4 ( <i>dimensional pie de rey</i> )	532	<b>62,07</b>
Saneamiento útil pintura	90 ( <i>trayecto</i> )	90	<b>18</b>
Actualización software atornillado	120	120	<b>56</b>
Incidente asociado	-		<b>0</b>
Clipado A9 (tapa)	6 ( <i>desatornillado</i> )	180	<b>21</b>

La modificación de la Matriz fue llevada a cabo por los operarios del taller, así como el saneamiento del útil de pintura. Por otro lado, la actualización del software de atornillado fue realizada por el equipo de informática. Por ende, el salario establecido es de 12€/h.

El coste total de Calidad Producción ha sido el siguiente:

Denominación	TOTAL (€)
<b>Calidad Producción</b>	
RING DUCATO	<b>46,84</b>
Modificación Matriz con impresora 3D	<b>48</b>
SWITCH P8 (backlighting)	<b>3053,28</b>
Lotes afectados (sólo teclas)	<b>384,26</b>
Tampografía HUB JEEP	<b>73,06</b>
Saneamiento útil pintura	<b>18</b>
Actualización software atornillado	<b>56</b>
Incidente asociado	-
Clipado A9 (tapa)	<b>31,27</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3.710,71</b>

Por último, el coste total de todo el trabajo, teniendo en cuenta el precio por aprendizaje autónomo (500 horas aproximadamente), es el siguiente:

Denominación	TOTAL (€)
<b>Control estadístico</b>	<b>3624,20</b>
<b>Calidad Producción</b>	<b>3710,71</b>
<b>Aprendizaje autónomo</b>	<b>3500</b>
<b>TOTAL</b>	<b>10.834,90</b>



## Bibliografía

### Libros

- [1] Hansen, B.L. y Ghare, P.M. *Control de calidad. Teoría y aplicaciones*. Ediciones Díaz de Santos. Madrid. 1990.
- [2] Colomer Cugat, M.A. *Eines per al control i gestió d'un procés. Exercicis resolts*. Edicions de la Universitat de Lleida. 2008.
- [3] Montgomery, D.C. *Control estadístico de la Calidad*. Grupo editorial Iberoamérica. México. 1985.
- [4] York, J. *Calitividad. La mejora simultánea de la calidad y la productividad*. Marcombo Boixareu Editores. Barcelona. 1994.
- [5] Ponsati, E.G. y Campos, M.A.C. *Gestión de la Calidad*. Edicions UPC. Barcelona. 2002.
- [6] Berry, T.H. *Cómo gerenciar la transformación hacia la calidad total*. McGraw-Hill Interamericana S.A. Bogotá, Colombia. 1992.
- [7] Brocka, B. y Brocka, M.S. *Quality Management (Gestión de calidad). Cómo aplicar las mejores soluciones de los expertos*. Javier Vergara Editor S.A. Buenos Aires, Argentina. 1994.
- [8] Crosby, P.B.. *Let's talk quality*. Penguin books. New York. USA. 1990.
- [9] Harrington H.J. *Cómo incrementar la calidad-productividad en su empresa*. Mc GrawHill. México, México. 1990.
- [10] Juran, J.M. y Gryna, F.M. *Planificación y análisis de la calidad*. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España. 1977.
- [11] Spurr, W.A. y Bonini, C.P. *Toma de decisiones en administración mediante métodos estadísticos*. Editorial LIMUSA. México, México. 1980.

### Recursos electrónicos


- [12] Soporte técnico de Minitab [en línea]. Francia, 2017. Disponible a: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/>



- [13] Stone, B.K. *Cómo interpretar los resultados del análisis de regresión: p-valores y coeficientes* [en línea]. 2015. Disponible a: < <https://www.addlink.es/noticias/minitab/2540-como-interpretar-los-resultados-del-analisis-de-regresion-p-valores-y-coeficientes>>
- [14] Puente, L. *La soldadura por puntos de resistencia* [en línea]. 2013. Disponible a: < <http://puentelara.blogspot.com/2013/04/soldadura-por-puntos-de-resistencia.html>>
- [15] Expo Zaragoza 2018. *Guía de buenas prácticas ambientales* [en línea]. 2018. Disponible a: < [http://www.somontano.org/images/stories/fotos/pestana/documentosdeinteres/soldadura200702210025\\_7\\_0.pdf](http://www.somontano.org/images/stories/fotos/pestana/documentosdeinteres/soldadura200702210025_7_0.pdf)>
- [16] Wikipedia. *Distribución normal* [en línea]. 2018. Disponible a: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n\\_normal](https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_normal)>
- [17] Rojas, R-F.A. *Control estadístico de procesos* [en línea]. Madrid. 2006. Disponible a: < <http://web.cortland.edu/matresearch/ControlProcesos.pdf>>



## Anexo I – Ficha técnica: electrodos de tungsteno



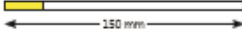
### Electrodo de Tungsteno TIG

Los electrodos de Tungsteno se utilizan para la soldadura TIG. La temperatura de fusión muy elevada del Tungsteno (alrededor de 3400°C) permite mantener un arco eléctrico entre la pieza a soldar y el electrodo sin desgastar este último rápidamente. Existen varios tipos de electrodos, en función de los procesos utilizados. Las normas EN 26848 y ISO 6848 aportan las informaciones relativas a estos electrodos.

#### Tungsteno WL15 (Lantano)

Acero/ A. Inoxidable /Aluminio

Los electrodos de Tungsteno Lantano (Dorado) son electrodos TIG universales que se pueden utilizar en corriente continua y alterna. Están particularmente recomendados para la soldadura de materiales puros o de aleaciones de aluminio, titanio, níquel, cobre y magnesio. Una tasa más elevada de óxido de lantano en su composición ofrece un desgaste más lento y un cebado que requiere menos corriente, en comparación a los electrodos WR2. Están recomendados para las corrientes débiles.

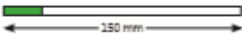


Ref.	φ	cantidad	Imax(A) AC	Imax(A) DC
045330	1,6	x10	150	160
045347	2,0	x10	200	220
045354	2,4	x10	250	270
045361	3,2	x10	300	350

#### Tungsteno WP (puro)

Aluminio

Los electrodos de Tungsteno puros (Verde) están diseñados sin aditivos para la soldadura de aluminio y sus aleaciones con una buena estabilidad de arco. Permiten obtener una bola bien formada en el extremo del electrodo, esta bola se forma espontáneamente en los primeros segundos. Debido a esto, el electrodo de tungsteno para este tipo de soldadura no se afila.

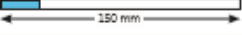


Ref.	φ	cantidad	Imax(A) AC
044555	1,6	x10	80
046719	2,0	x10	110
044579	2,4	x10	130
046726	3,2	x10	190

#### Tungsteno WR2

Acero/ A. Inoxidable /Aluminio

Los electrodos de Tungsteno WR2 (Turquesa) son electrodos TIG polivalentes para la soldadura de aceros y aceros inoxidables en corriente continua y para aluminios en corriente alterna.




Ref.	φ	cantidad	Imax(A) AC	Imax(A) DC
044586	1,6	x10	100	110
044593	2,0	x10	160	170
044609	2,4	x10	210	220
044616	3,2	x10	220	300

#### Tungsteno E3

Acero/ A. Inoxidable /Aluminio

Los electrodos de Tungsteno E3® (lilas) ofrecen una gran flexibilidad de uso. Están particularmente recomendados para la soldadura de acero, acero inoxidable, cobre y latón con intensidades débiles o medias. Permiten la soldadura de aluminio en corriente alterna. No son radioactivos, disponen de características cercanas al electrodo toriado. Se distinguen por una gran calidad de cebado y aseguran una buena regularidad en la realización del cordón. Son aptos para la soldadura automática.



Ref.	φ	cantidad	Imax(A) AC	Imax(A) DC
046733	1,6	x10	150	160
046764	2,0	x10	200	220
046771	2,4	x10	250	270
046788	3,2	x10	300	350
046795	4,0	x10	400	450

#### Comparativo


	Acier / Inox	Alu	DC	AC	Estabilidad del arco	Cebado del arco	Duración de vida del electrodo
WP	---	++++	---	++++	++	+++	++
WL15	+++	++	+++	++	++	+++	+++
WR2	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++
E3	++++	++	++++	+++	+++	++++	+++

— inadapitado + correcto ++ bien +++ Muy bien ++++ excelente

#### Mas información

**Afilado del electrodo:** El ángulo de afilado tiene una gran incidencia sobre las características del cordón. Un ángulo grande genera una soldadura estrecha y una fuerte penetración mientras

**Afilador de electrodos (ref. 045415)**  
Electrodos de ø 1 a 4 mm  
Filtro de partículas  
Ángulo 15 a 180°



## Anexo II – Ficha técnica: dinamómetro digital

### Los dinamómetros AFG

Ver pág. 5 - 8 para Sensores 'Smart' de Fuerza y Par

Los dinamómetros AFG (Advanced Force Gauge) son los más versátiles y completos del mercado. Pueden ser utilizados manualmente o fijados a un soporte de accionamiento manual o motorizado. Y, para mayor flexibilidad, los AFG pueden ser conectados a una amplia gama de transductores externos 'Smart' de fuerza y de par, utilizándolos de esta manera como visualizadores universales (ver páginas 5 a 8).

#### CARACTERÍSTICAS CLAVE:

- 10 capacidades - desde 2.5N hasta 2500N
- Captura del Pico - Valor máx + 1er pico
- Salida de datos - RS232, digimatic y analógica
- Alarmas Pasa/No Pasa - sonora y visual
- Alerta de sobrecarga mediante barra gráfica
- Amplio rango de fijaciones y accesorios

Salida de datos RS232, Mitutoyo y Analógica para una fácil transmisión de datos. Puede suministrarse opcionalmente una salida analógica calibrada.

Adaptador RS232 a Bluetooth (opcional extra)

Conexión a amplia gama de transductores externos de fuerza y par por ej. Células de carga en S y de botón, sensores de par, ...

Indicación del 1er pico y del valor máximo. Memoria interna de hasta 500 lecturas.

Precisión de  $\pm 0.1\%$  fondo escala.

Vástago interno para un rápido y fácil cambio de accesorios y fijaciones. Vástago con rosca 10-32 UNF macho (5/16 UNC macho en AFG 1000N y 2500N).

Alarma Pasa/No Pasa sonora y visual para aviso inmediato de haber excedido los límites de tolerancia previamente introducidos.

Mediciones hechas en N, kN, mN, lbf, ozf, kgf y gf con velocidad de muestreo de 5000Hz.

Lectura reversible 180° Para facilidad de lectura con independencia de la posición.

Construcción robusta en aluminio ideal para uso en producción o en el exterior.



## AFG Tabla de Especificaciones

Modelo	Ref.	mN	N	kN	gf	kgf	ozf	lbf
AFG 2.5	850 - 412	2,500 x 0.5	2.5 x 0.0005	-	250 x 0.05	-	9 x 0.002	0.55 x 0.0001
AFG 5	850 - 413	5,000 x 1	5 x 0.001	-	500 x 0.1	0.5 x 0.0001	18 x 0.005	1.1 x 0.0002
AFG 10	850 - 414	10,000 x 2	10 x 0.002	-	1,000 x 0.2	1 x 0.0002	35 x 0.01	2.2 x 0.0005
AFG 25	850 - 415	25,000 x 5	25 x 0.005	-	2,500 x 0.5	2.5 x 0.0005	90 x 0.02	5.5 x 0.001
AFG 50	850 - 416	50,000 x 10	50 x 0.01	-	5,000 x 1	5 x 0.001	180 x 0.05	11 x 0.002
AFG 100	850 - 417	-	100 x 0.02	-	10,000 x 2	10 x 0.002	350 x 0.1	22 x 0.005
AFG 250	850 - 418	-	250 x 0.05	-	25,000 x 5	25 x 0.005	900 x 0.2	55 x 0.01
AFG 500	850 - 419	-	500 x 0.1	-	50,000 x 10	50 x 0.01	1,800 x 0.5	110 x 0.02
AFG 1000	850 - 420	-	1,000 x 0.2	1 x 0.0002	-	100 x 0.02	3,500 x 1	220 x 0.05
AFG 2500	850 - 421	-	2,500 x 0.5	2.5 x 0.0005	-	250 x 0.05	9,000 x 2	550 x 0.1

• Precisión  $\pm 0.1\%$  del fondo de escala  
• Deflexión típica de la célula a fondo de escala 0.5mm



Dinamómetro AFG montado en un soporte motorizado MultiTest-d

El diseño del teclado y del menú del AFG hacen que la operativa con este polivalente dinamómetro sea fácil e intuitiva, tanto para su utilización en los departamentos de producción como de I+D+i.

De construcción robusta en aluminio, y diseño ergonómico, el AFG puede ser alimentado directamente desde la red, o mediante baterías recargables tipo AAA.

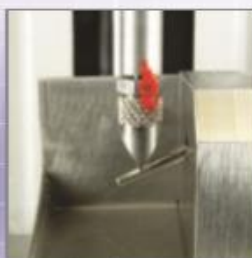
Todos los modelos están marcados CE y se suministran en un robusto maletín de transporte, con sus accesorios estándar y su Certificado de Calibración con trazabilidad.

Ver pág.12 para detalles de los accesorios suministrados.

versátil  
robusto  
preciso



Ensayo de tracción en punto de anclaje



Ensayo de compresión en dispositivo médico



AFG y sus accesorios



# Sensores de Tracción y Compresión

Para utilizar con display AFTI o con dinamómetro AFG

## Células de carga tipo S-Junior - 'Smart'



Las células de carga tipo 'S-Junior' son ideales para mediciones de fuerzas de tracción y/o compresión donde el espacio disponible es limitado. Gracias a sus agujeros roscados, cualquier accesorio puede ser fijado.

Para utilizar con display AFTI o con dinamómetro AFG.

Modelo	Ref.	L mm	W mm	H mm	Rosca
1N/100gf/3.5ozf	870 - 101	17	7	19	M3 x 0.5
2.5N/250gf/9ozf	870 - 102	17	7	19	M3 x 0.5
5N/500gf/18ozf	870 - 103	17	7	19	M3 x 0.5
10N/1kgf/2.2lbf	870 - 104	17	7	19	M3 x 0.5
25N/2.5kgf/5.5lbf	870 - 105	17	7	19	M3 x 0.5
50N/5kgf/11lbf	870 - 106	17	7	19	M3 x 0.5
100N/10kgf/22lbf	870 - 107	17	7	19	M3 x 0.5
250N/25kgf/55lbf	870 - 108	17	7	19	M3 x 0.5
500N/50kgf/110lbf	870 - 109	17	7	19	M3 x 0.5

Precisión  $\pm 0.25\%$  del fondo de escala



## Células de carga tipo S - 'Smart'

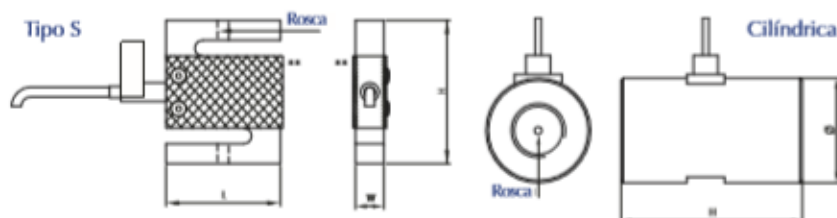
Las células de carga tipo 'S' ofrecen una solución económica a la medición en general de fuerzas en aplicaciones donde el espacio disponible no sea restringido. Gracias a sus agujeros roscados, cualquier accesorio puede ser fijado.

Para utilizar con display AFTI o con dinamómetro AFG.

Modelo	Ref.	L mm	W mm	H mm	Rosca
100N/10kgf/22lbf	870 - 002	51	13	64	M6 x 1
200N/20kgf/44lbf	870 - 004	51	13	64	M6 x 1
500N/50kgf/110lbf	870 - 009	51	19	76	M6 x 1
1000N/100kgf/220lbf	870 - 001	51	19	76	M10 x 1.5
2500N/250kgf/550lbf	870 - 006	51	25	76	M12 x 1.75
5000N/500kgf/1100lbf	870 - 008	51	25	76	M12 x 1.75
10kN/1000kgf/2200lbf	870 - 003	51	25	76	M12 x 1.75
25kN/2500kgf/5500lbf	870 - 007	76	25	108	M16 x 2

Cilíndrica	Ref.	Ø mm	H mm	Rosca
* 50kN/5000kgf/11000lbf	870 - 011	70	120	M36 x 3
* 100kN/10000kgf/22000lbf	870 - 010	70	120	M36 x 3

Precisión  $\pm 0.25\%$  del fondo de escala \* Calibración unidireccional (especificar tracción o compresión)



\*\* Añadir 6mm a la anchura total de la zona central (W) debido a la cubierta protectora

## Para utilizar con display AFTI o con dinamómetro AFG



### Células de carga de tipo Botón - 'Smart'

Las células de carga de tipo 'Botón' son unos sensores miniatura para medición solo de fuerzas a compresión, en aplicaciones donde el espacio disponible es muy limitado. Para obtener resultados óptimos la fuerza de compresión debe aplicarse en la parte más alta del botón central.

Para utilizar con display AFTI o con dinamómetro AFG.

#### Series Miniatura

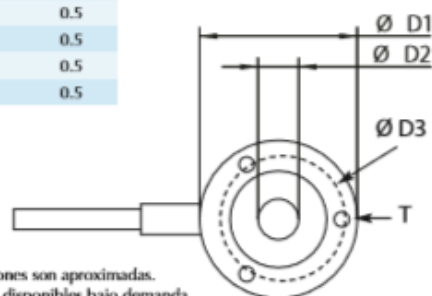
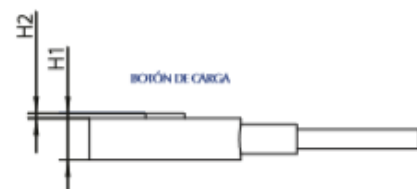
Modelo	Ref.	Capacidad	ØD1 mm	ØD2 mm	ØD3 mm	H1 mm	H2 mm	T
L16010	878 - 008	100N/10kg/22lbf	25	5	19	8	1	4/40UNC
	878 - 009	250N/25kg/55lbf	25	5	19	8	1	4/40UNC
	878 - 010	500N/50kg/110lbf	25	5	19	8	1	4/40UNC
L16020	878 - 011	1000N/100kg/220lbf	31	8	25	10	1	6/32UNC
	878 - 012	2500N/250kg/550lbf	31	8	25	10	1	6/32UNC
	878 - 013	5000N/500kg/1100lbf	31	8	25	10	1	6/32UNC
L16030	878 - 014	10kN/1000kg/2200lbf	38	11	32	16	2	6/32UNC
	878 - 015	20kN/2000kg/5500lbf	38	11	32	16	2	6/32UNC
	878 - 016	50kN/5000kg/11000lbf	38	11	32	16	2	6/32UNC

Precisión  $\pm 1\%$  del fondo de escala

#### Series Sub-miniatura

Modelo	Ref.	Capacidad	ØD1 mm	ØD2 mm	H1 mm	H2 mm
L1630	878 - 001	50N/5kg/11lbf	19	4.5	7	0.5
	878 - 002	100N/10kg/22lbf	19	4.5	7	0.5
	878 - 003	250N/25kg/55lbf	19	4.5	7	0.5
	878 - 004	500N/50kg/110lbf	19	4.5	7	0.5
	878 - 005	1000N/100kg/220lbf	19	4.5	7	0.5
	878 - 006	5000N/500kg/1100lbf	19	4.5	7	0.5

Precisión  $\pm 1\%$  del fondo de escala



Las dimensiones son aproximadas.  
Planos detallados disponibles bajo demanda.

### Células de carga Especializadas

Además de la gama estándar de sensores, Mecmesin ofrece también células de carga especialmente diseñadas para aplicaciones específicas. Aquí debajo se pueden ver algunos ejemplos. Para más detalles, contacte con nuestro departamento comercial.



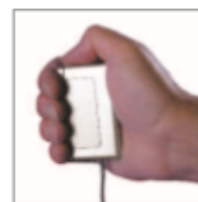
Sensor de Pinza



Sensor tipo Donut



Pedal Fuerza de Acelerador



Sensor fuerza de mano

# Sensores de Par Estático y Dinámico

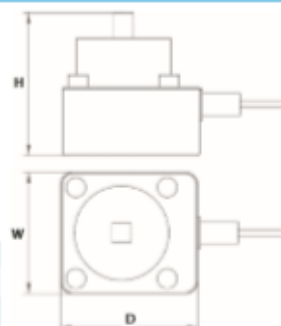
Para utilizar con display AFTI o con dinamómetro AFG

## Sensores de Par Estático - 'Smart'



Para montar en un banco o integrado en un sistema de ensayos. Se suministra con cuadradillo macho de arrastre para montaje fácil de adaptadores.

Para utilizar con display AFTI o con dinamómetro AFG.



Modelo	Ref.	Capacidad	Cuadr. macho	H mm	W mm	D mm
ST15	872 - 006	15N.m/150kgf.cm/130lbf.in	3/8"	87	80	90
ST60	872 - 008	60N.m/600kgf.cm/520lbf.in	3/8"	87	80	90
ST100	872 - 003	100N.m/1000kgf.cm/870lbf.in	1/2"	93	80	90
ST150	872 - 005	150N.m/1500kgf.cm/1300lbf.in	1/2"	93	80	90

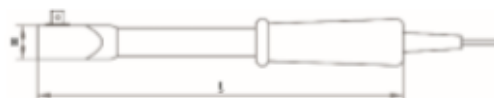
Precisión  $\pm 0.5\%$  del fondo de escala

## Llaves dinamométricas estáticas - 'Smart'



Para aplicaciones de par de capacidad media, donde es más práctico aplicarlos mediante un brazo de palanca. Dotada de cuadradillo macho de arrastre para montaje fácil de adaptadores.

Para utilizar con display AFTI o con dinamómetro AFG.



Modelo	Ref.	Capacidad	Cuadr. macho	L mm	H mm	Peso
TW15	873 - 003	15N.m/150kgf.cm/130lbf.in	3/8"	280	25	800g
TW60	873 - 005	60N.m/600kgf.cm/520lbf.in	3/8"	355	25	950g
TW150	873 - 006	150N.m/1500kgf.cm/1300lbf.in	1/2"	508	25	1200g

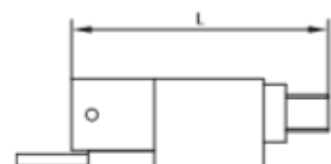
Precisión  $\pm 0.5\%$  del fondo de escala

## Extensiones dinamométricas estáticas - 'Smart'



Para aplicaciones de par de baja capacidad, donde el espacio es limitado. Dotada de cuadradillo de arrastre macho/hembra para montaje fácil de elementos.

Para utilizar con display AFTI o con dinamómetro AFG.



Modelo	Ref.	Capacidad	Cuadr.	L mm
SE3	871 - 201	3N.m/30kgf.cm/26lbf.in	1/4"	50.8
SE6	871 - 202	6N.m/60kgf.cm/50lbf.in	1/4"	50.8
SE10	871 - 203	10N.m/100kgf.cm/90lbf.in	1/4"	50.8

Precisión  $\pm 0.5\%$  del fondo de escala



Cuadradillo macho  
(Cuadr. hembra en lado opuesto)

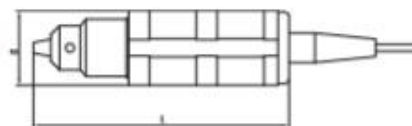
## Para utilizar con display AFTI o con dinamómetro AFG

### Torquímetros estáticos - 'Smart'



Para aplicaciones de baja capacidad. Utilizados manualmente o montados en un estativo. No indicado para aplicaciones que requieran múltiples giros del sensor - ver transductores de par dinámico aquí debajo.

(Entre planos para modelos TS)



Para utilizar con display AFTI o dinamómetro AFG.

Modelo	Ref.	Capacidad	Arrastre	L mm	Ø mm	Peso
TS0.3	871 - 004	0.3N.m/3kgf.cm/2.6lbf.in	cuadradillo macho 3/8"/portabrocas	143	43	660g
TS1.5	871 - 002	1.5N.m/15kgf.cm/13lbf.in	cuadradillo macho 3/8"/portabrocas	143	43	660g
TS3	871 - 003	3N.m/30kgf.cm/26lbf.in	cuadradillo macho 3/8"/portabrocas	143	43	660g
TS6	871 - 005	6N.m/60kgf.cm/53lbf.in	cuadradillo macho 3/8"/portabrocas	143	43	660g
TS10	871 - 001	10N.m/100kgf.cm/90lbf.in	cuadradillo macho 3/8"/portabrocas	143	43	660g

Precisión  $\pm 0.5\%$  del fondo de escala



### Transductores de par dinámico - 'Smart'

Una completa gama de sensores para medir pares dinámicos en aplicaciones con múltiples giros (por ej. el par de accionamiento de un elevallunas).

Para utilizar con display AFTI o con dinamómetro AFG.

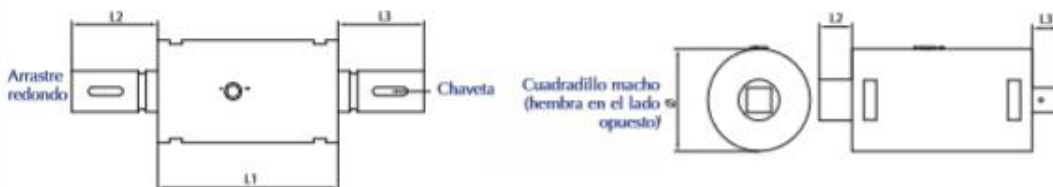
Modelo	Ref.	Capacidad	Arrastre	L1 mm	L2 mm	L3 mm	Ø mm	Max rpm
FAST 2N.m sq	877 - 020	2N.m/20kgf.cm/18lbf.in	1/4" cuadradillo	70	16	10	40	1000
FAST 2N.m rd	877 - 021	2N.m/20kgf.cm/18lbf.in	Ø 9mm redondo*	70	28	28	40	5000
FAST 6N.m sq	877 - 022	6N.m/60kgf.cm/53lbf.in	1/4" cuadradillo	70	16	10	40	1000
FAST 6N.m rd	877 - 023	6N.m/60kgf.cm/53lbf.in	Ø 9mm redondo*	70	28	28	40	5000
FAST 15N.m sq	877 - 024	15N.m/150kgf.cm/133lbf.in	1/4" cuadradillo	70	16	10	40	1000
FAST 15N.m rd	877 - 025	15N.m/150kgf.cm/133lbf.in	Ø 9mm redondo*	70	28	28	40	5000
FAST 60N.m sq	877 - 026	60N.m/600kgf.cm/530lbf.in	3/8" square*	70	24	13	50	1000
FAST 60N.m rd	877 - 027	60N.m/600kgf.cm/530lbf.in	Ø 14mm redondo*	70	28	28	50	5000
FAST 150N.m sq	877 - 028	150N.m/153kgf.m/1111lbf.ft	1/2" cuadradillo	70	35	19	50	1000
FAST 150N.m rd	877 - 029	150N.m/153kgf.m/1111lbf.ft	Ø 19mm redondo*	70	55	55	50	5000

Fuerza máxima axial es 40N






Fuerza máxima lateral radial es 50N

Precisión  $\pm 1\%$  del fondo de escala

\* con claveta



# Anexo III – Ficha de datos de seguridad: Resina Epoxi 4307

	<p>Ficha de datos de seguridad según 1907/2006/CE (REACH), 453/2010/EC</p> <p><b>RESINA EPOXI 4307</b></p>	
<p><b>SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O EMPRESA</b></p>		
<p><b>1.1 Identificador del producto:</b></p>	<p>RESINA EPOXI 4307</p>	
<p><b>1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados:</b></p>	<p>Resinas para la formulación de composites. Uso exclusivo profesional.</p>	
<p><b>1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad:</b></p>	<p>PLÁSTICOS INDUSTRIALES DEL SUR, S.A. P.I. La Red Sur Calle 11 Nave 4 41500 Alcalá de Guadaira - SEVILLA - ESPAÑA Tfno.: +34 955 631 100 - Fax: +34 955 631 825 calidad@plainsur.com www.plainsur.com 915 620 420</p>	
<p><b>1.4 Teléfono de emergencia:</b></p>	<p>915 620 420</p>	
<p><b>SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS</b></p>		
<p><b>2.1 Clasificación:</b></p>	<p><b>Directiva 67/548/CE y Directiva 1999/45/CE</b></p> <p>La clasificación del producto se ha realizado conforme con el R.D. 363/1995 (Directiva 67/548/CE) y el R.D.255/2003 (Directiva 1999/45/CE), adaptando sus disposiciones al Reglamento (CE) nº1907/2006 (Reglamento REACH) de acuerdo al R.D. 1802/2008.</p> <p>C: R34 - Provoca quemaduras O: R7 - Puede provocar incendios Xn: R22 - Nocivo por ingestión</p> <p><b>Reglamento nº1272/2008 (CLP)</b></p> <p>La clasificación de este producto se ha realizado conforme el Reglamento nº1272/2008 (CLP).</p> <p>Acute Tox. 4: Toxicidad aguda por inhalación, Categoría 4 Acute Tox. 4: Toxicidad aguda por ingestión, Categoría 4 Eye Dam. 1: Lesiones oculares graves, Categoría 1 Ox. Liq. 2: Líquidos comburentes, Categoría 2 Skin Corr. 1B: Corrosión cutánea, Categoría 1B</p>	
<p><b>2.2 Elementos de la etiqueta:</b></p>	<p><b>Directiva 67/548/CE y Directiva 1999/45/CE</b></p> <p>De acuerdo a la legislación los elementos del etiquetado son los siguientes:</p>	
 <p>Corrosivo</p>	 <p>Comburente</p>	
<p><b>Frases R:</b></p>	<p>R22: Nocivo por ingestión R34: Provoca quemaduras R7: Puede provocar incendios</p> <p><b>Frases S:</b></p> <p>S2: Manténgase fuera del alcance de los niños S26: En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico S36/37/39: Úsense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara S45: En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrese la etiqueta) S46: En caso de ingestión, acúdase inmediatamente al médico y muéstrese la etiqueta o el envase</p>	
<p><b>Información suplementaria:</b></p>	<p>P92: Contiene compuestos epoxídicos-Véase la información facilitada por el fabricante P99: Contiene Productos de reacción de bisfenol A-epiclorohidrina, Resina Bisfenol F-Epoxy, Oxirano, mono[(C12-14-alkiloxi)metil] derivados. Puede provocar una reacción alérgica</p>	
<p><b>Reglamento nº1272/2008 (CLP)</b></p>	<p>Peligro</p>	
		



**SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS (continúa)****Indicaciones de peligro:**

Acute Tox. 4: H332 - Nocivo en caso de inhalación.

Acute Tox. 4: H302 - Nocivo en caso de ingestión.

Ox. Liq. 2: H272 - Puede agravar un incendio, comburente.

Skin Corr. 1B: H314 - Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

**Consejos de prudencia:**

P301+P330+P331: EN CASO DE INGESTION: Enjuagarse la boca. NO provocar el vómito.

P303+P361+P353: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas.

Aclararse la piel con agua o ducharse.

P304+P340: EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar.

P310: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico.

P363: Lavar las prendas contaminadas antes de volver a usarlas.

P370+P378: En caso de incendio: Utilizar extintor de polvo ABC para apagarlo.

**Información suplementaria:**

EUH205: Contiene componentes epoxídicos. Puede provocar una reacción alérgica.

EUH208: Contiene Productos de reacción de bisfenol A-epiclorohidrina, Resina Bisfenol F-Epoxy, Oxirano, mono[(C12-14-alkyloxi)metil] derivados. Puede provocar una reacción alérgica.

**2.3 Otros peligros:**

No relevante

**SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES**

**Descripción química:** Resina Epóxica

**Componentes:**

De acuerdo al Anexo II del Reglamento (CE) nº1907/2006 (punto 3), el producto presenta:

Identificación	Nombre químico/clasificación	Concentración
CAS: 25068-38-6 CE: 500-033-5 Index: 603-074-00-8 REACH: 01-2119499919-38-10000	<b>Productos de reacción de bisfenol A-epiclorohidrina</b> ATP CLP00	
	Directiva 67/548/CE N: R31/33; Xi: R36/38, R43	50 - <75 %
	Reglamento 1272/2008 Skin Irrit. 2: H315; Eye Irrit. 2: H319; Skin Sens. 1: H317; Aquatic Chronic 2: H411 - Atención	
CAS: 55492-52-9 CE: Index: REACH:	<b>Resina Bisfenol F-Epoxy</b> Autoclificada	
	Directiva 67/548/CE N: R31/33; Xi: R36/38, R43	19,5 - <50 %
	Reglamento 1272/2008 Skin Irrit. 2: H315; Eye Irrit. 2: H319; Skin Sens. 1: H317; Aquatic Chronic 2: H411 - Atención	
CAS: 68609-97-2 CE: 271-846-8 Index: 603-103-00-4 REACH:	<b>Oxirano, mono[(C12-14-alkyloxi)metil] derivados</b> ATP CLP00	
	Directiva 67/548/CE Xi: R38, R43	10 - <19,5 %
	Reglamento 1272/2008 Skin Irrit. 2: H315; Skin Sens. 1: H317 - Atención	

Para ampliar información sobre la peligrosidad de las sustancias consultar los epígrafes 8, 11, 12 y 16.

**SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS****4.1 Descripción de los primeros auxilios:**

Requerir asistencia médica inmediata, mostrándole la FDS de este producto

**Por inhalación:**

Sacar al afectado del lugar de exposición, suministrarle aire limpio y mantenerlo en reposo. En casos graves como parada cardiorrespiratoria, se aplicarán técnicas de respiración artificial (respiración boca a boca, masaje cardíaco, suministro de oxígeno, etc.) requiriendo asistencia médica inmediata.

**Por contacto con la piel:**

Quitar la ropa y los zapatos contaminados, aclarar la piel o duchar al afectado si procede con abundante agua fría y jabón neutro. En caso de afección importante acudir al médico. Si la mezcla produce quemaduras o congelación, no se debe quitar la ropa debido a que podría empeorar la lesión producida si esta se encuentra pegada a la piel. En el caso de formarse ampollas en la piel, éstas nunca deben reventarse ya que aumentaría el riesgo de infección.

**Por contacto con los ojos:**

## SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL (continúa)



Identificación				
Productos de reacción de bisfenol A-epiclorhidrina CAS: 25068-38-6 CE: 500-033-5	STP	10 mg/L	Agua dulce	0,01 mg/L
	Suelo	0,2 mg/kg	Agua salada	0 mg/L
	Intermitente	0,02 mg/L	Sedimento (Agua dulce)	1 mg/kg
	Oral	11 g/kg	Sedimento (Agua salada)	0,1 mg/kg
Oxirano, mono[(12-14-alkyloxi)metil] derivados CAS: 68609-97-2 CE: 271-846-8	STP	10 mg/L	Agua dulce	0,01 mg/L
	Suelo	80,12 mg/kg	Agua salada	0 mg/L
	Intermitente	0,07 mg/L	Sedimento (Agua dulce)	66,77 mg/kg
	Oral	No relevante	Sedimento (Agua salada)	6,68 mg/kg

## 8.2 Controles de la exposición:



## A.- Medidas generales de seguridad e higiene en el ambiente de trabajo:

De acuerdo al orden de prioridad para el control de la exposición profesional (R.D. 374/2001 y posteriores modificaciones) se recomienda la extracción localizada en la zona de trabajo como medida de protección colectiva para evitar sobrepasar los límites de exposición profesional. En el caso de emplear equipos de protección individual deben disponer del "marcado CE" de acuerdo al R.D.1407/1992 y posteriores modificaciones. Para más información sobre los equipos de protección individual (almacenamiento, uso, limpieza, mantenimiento, clase de protección,...) consultar el folleto informativo facilitado por el fabricante del EPI. Las indicaciones contenidas en este punto se refieren al producto puro. Las medidas de protección para el producto diluido podrán variar en función de su grado de dilución, uso, método de aplicación, etc. Para determinar la obligación de instalación de duchas de emergencia y/o lavajos en los almacenes se tendrá en cuenta la normativa referente al almacenamiento de productos químicos aplicable en cada caso. Para más información ver epígrafe 7.1 y 7.2.



## B.- Protección respiratoria.

Pictograma PRL	EPI	Marcado	Normas CEN	Observaciones
	Máscara autofiltrante para gases y vapores		EN 405:2001+A1:2009	Reemplazar cuando se detecte olor o sabor del contaminante en el interior de la máscara o adaptador facial. Cuando el contaminante no tiene buenas propiedades de aviso se recomienda el uso de equipos aislantes.



## C.- Protección específica de las manos.

Pictograma PRL	EPI	Marcado	Normas CEN	Observaciones
	Gautes NO desechables de protección química		EN 374-1:2003 EN 374-3:2003/AC:2006 EN 420:2003+A1:2009	El tiempo de paso (Breakthrough Time) indicado por el fabricante ha de ser superior al del tiempo de uso del producto. No emplear cremas protectoras después del contacto del producto con la piel.







## D.- Protección ocular y facial

Pictograma PRL	EPI	Marcado	Normas CEN	Observaciones
	Pantalla facial		EN 166:2001 EN 167:2001 EN 168:2001 EN 172:1994/A1:2000 EN 172:1994/A2:2001 EN 165:2005	Limpiar a diario y desinfectar periódicamente de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

## E.- Protección corporal

Pictograma PRL	EPI	Marcado	Normas CEN	Observaciones
	Prenda de protección frente a riesgos químicos		EN 13034:2005+A1:2009 EN 168:2001 EN ISO 13982-1:2004/A1:2010 EN ISO 6529:2001 EN ISO 6530:2005 EN 464:1994	Uso exclusivo en el trabajo. Limpiar periódicamente de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
	Calzado de seguridad contra riesgo químico		EN ISO 20345:2011 EN 13832-1:2006 EN ISO 20344:2011	Reemplazar las botas ante cualquier indicio de deterioro.

## F.- Medidas complementarias de emergencia

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE		
<b>Transporte terrestre de mercancías peligrosas:</b>		
En aplicación al ADR 2011 y al RID 2011:		
 	14.1	Número ONU: UN3085
	14.2	Designación oficial de transporte de la ONU: SÓLIDO COMBURENTE, CORROSIVO, N.E.P.
	14.3	Clase(s) de peligro para el transporte: 5.1
		Etiquetas: 5.1, 8
	14.4	Grupo de embalaje: II
	14.5	Peligroso para el medio ambiente: No
	14.6	Disposiciones especiales: 274
		Código de restricción en túneles: E
		Propiedades físico-químicas: ver epígrafe 9
		Cantidades limitadas: 1 kg
<b>Transporte marítimo de mercancías peligrosas:</b>		
En aplicación al IMDG 2011:		
 	14.1	Número ONU: UN3085
	14.2	Designación oficial de transporte de la ONU: SÓLIDO COMBURENTE, CORROSIVO, N.E.P.
	14.3	Clase(s) de peligro para el transporte: 5.1
		Etiquetas: 5.1, 8
	14.4	Grupo de embalaje: II
	14.5	Peligroso para el medio ambiente: No
	14.6	Disposiciones especiales: 274, 944
		Códigos FEm: F-A, S-Q
		Propiedades físico-químicas: ver epígrafe 9
<b>Transporte aéreo de mercancías peligrosas:</b>		
En aplicación al IATA/OACI 2012:		
 	14.1	Número ONU: UN3085
	14.2	Designación oficial de transporte de la ONU: SÓLIDO COMBURENTE, CORROSIVO, N.E.P.
	14.3	Clase(s) de peligro para el transporte: 5.1
		Etiquetas: 5.1, 8
	14.4	Grupo de embalaje: II
	14.5	Peligroso para el medio ambiente: No
		Propiedades físico-químicas: ver epígrafe 9